SEPM TOP ventes

# SCIENCE & VIE

N° 1238
Novembre 2020

**ÉLECTIONS AMÉRICAINES**
TRUQUÉES PAR LA TECHNO ?

**PARKINSON**
L'INCROYABLE EXPLOIT

**GRAVITATION**
ET SI ELLE AVAIT UNE MASSE ?

**SOLEIL**
ON NE L'A JAMAIS VU DE SI PRÈS !

# COVID-19
# ENQUÊTE SUR LE VACCIN

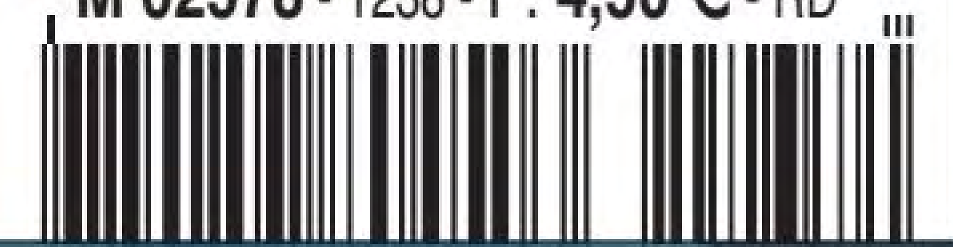
**QUAND SERA-T-IL PRÊT ? SERA-T-IL EFFICACE ? SANS DANGER ?**



# CHAT
COMMENT IL NOUS A DOMESTIQUÉS

REWORLD MEDIA

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM S: 4,90 € - DOM A: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 € -PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,75 $ CAN - MAR: 50 DH - TOM S: 750 CFP - TOM A: 1 400 CFP - CH: 8,50 FS - TUN: 9,50 DTU



VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

CITROËN

SILENT
URBAN
VEHICLE




# CITROËN C5 AIRCROSS HYBRID
## HYBRIDE RECHARGEABLE
### LE SUV EN CLASSE Ë-CONFORT




**20 aides à la conduite***
**Recharge accélérée en 2 heures**
**55 km d'autonomie en mode 100 % électrique**
**Suspensions avec Butées Hydrauliques Progressives®**
**Puissance cumulée thermique et électrique de 225 ch**

silent urban vehicle = *le véhicule urbain silencieux.*

Citroën préfère Total. *selon version ou motorisation.

INSPIRËD BY YOU ALL

**CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE $CO_2$ DE SUV CITROËN C5 AIRCROSS : WLTP DE 1,4 À 7,4 L/100 KM ET DE 32 À 167 G/KM.**




AUTOMOBILES CITROËN : RCS PARIS 642 050 199






Lise Barneoud
*l.barneoud@reworldmedia.com*

## Objet scientifique hautement singulier

Jamais un vaccin n'a suscité à la fois autant d'espoirs et de craintes. Attendu comme le messie par les uns, voué aux gémonies par les autres, le vaccin développé contre le Covid-19 échappe déjà à la science, happé par des fantasmes. Nous avons examiné cet objet avec nos outils : la science et les faits. Nous avons décortiqué les publications scientifiques, les résultats des essais cliniques, interrogé des dizaines d'experts, exploré les différents modèles et les théories divergentes. Nous livrons ici notre enquête.



Simon Devos
*s.devos@reworldmedia.com*

## Irrésistible gravitation

Du big bang à la chute d'une pomme… la relativité d'Einstein décrit tout. Oui, mais elle a deux problèmes, sempiternels, cosmologiques, fondamentaux : elle ne s'allie pas avec la théorie de la matière, la mécanique quantique. Elle n'explique pas pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère. Diable ! Et voilà qu'un concept étrange promet de résoudre les deux d'un coup : une gravité, qui aurait une masse ! Une force d'attraction des masses, elle-même massive ? Irrésistible…



Anne Debroise
*a.debroise@reworldmedia.com*

## Le pire ami de l'homme

Insubordonné et affectueux, trognon et génocidaire, déifié et maudit… Le chat est le plus ambivalent des animaux domestiques. Et cela a trait à notre histoire commune. De nouvelles découvertes faites en Pologne permettent de remonter aux origines du contrat passé entre les humains et les chats. Et de comprendre qu'ils n'ont jamais eu tant besoin de nous… Pas autant, en tout cas, que nous avons eu besoin d'eux.

DR

# Sommaire

Novembre 2020 **n°1238**

06 **Forum**

## L'actu des sciences

12 **En image**
Chaque ovule attire les spermatozoïdes qu'il préfère ; des lueurs ultraviolettes illuminent la nuit martienne…

16 **Grand angle**
Le *Lystrosaurus* hibernait bien avant les mammifères ; les briques peuvent stocker de l'électricité ; un trou noir de masse inédite a été détecté ; les cellules cancéreuses suivent un "fil d'Ariane" chimique…

22 **3 découvertes sur...**
Pluton

## Science & société

28 Événement
**Comment sauver la forêt française ?**

36 Data
**Voici l'effet des politiques écologiques sur la pollution**

38 L'étrange affaire…
**de la maladie qui paralyse les enfants**

40 Enquête
**L'IA va-t-elle bousculer l'élection américaine ?**

46 Retour sur image
**Le jour où l'Atlantique a été envahi par les cyclones**

48 En débat
**Pesticides : le grand retour des "tueurs d'abeilles"**

50 Les clés pour comprendre…
**la flambée du méthane**

52 L'objet du mois
**Le premier spray nasal qui prévient les suicides**

54 Futur
**Une station sous-marine internationale est lancée ; un satellite-piégeur de débris spatiaux va être testé ; une couverture photovoltaïque des autoroutes est à l'étude...**



12 Reproduction



28 Forêt française




52 Spray antisuicide

EYE OF SCIENCE/ SPL - I.FASSBENDER/AFP - DR - GETTY IMAGES - ANDREY SUKHOV/123RF - O.HAMANT ET AL. COUVERTURE : GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK

**SCIENCE&VIE** 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67 E-mail : svmens@reworldmedia.com.
Recevez *Science & Vie* chez vous. **Vos bulletins d'abonnement se trouvent p. 83 et 133.**
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par internet sur www.kiosquemag.com
Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com

Ce numéro comporte, sur tout ou partie de sa diffusion : un tout-en-un Multi-titres Reworld Media multi-éditeurs ADD posé sur la C4 ; un tout-en-un Multi-titres Reworld Media multi-éditeurs ADL posé sur la C4.

62

## À la Une

62 **Covid-19 : enquête sur le vaccin**

Efficacité, niveau de sécurité, choix des publics à vacciner, accueil sociétal : le point sur les vaccins candidats lancés dans la course effrénée contre le coronavirus.



98
Domestication

## Les dossiers

84 Astrophysique
**Solar Orbiter : le Soleil comme on ne l'a jamais vu**

94 Biologie végétale
**Voici l'ultra-photosynthèse !**

98 Archéozoologie
**Comment le chat nous a domestiqués**

106 Physique des particules
**Gravitation : et si elle avait une masse ?**

110 Médecine
**Parkinson : l'incroyable expérience**

Haricots 132

## Bon à savoir

116 **C'est maintenant**
Comment se protéger contre l'invasion des punaises de lit

118 **En pratique**
L'amnésie n'est pas toujours un marqueur d'Alzheimer ; la méditation n'est pas sans risque…

122 **Technofolies**

126 **À voir/à lire/à faire**

128 **Questions/Réponses**
Pourquoi les haricots grimpent-ils toujours dans le même sens ? Pourquoi la ceinture d'astéroïdes ne s'est-elle pas agrégée en planète ?…

134 **Bulle de science**

Merci d'adresser vos courriers à: sev.lecteurs@reworldmedia.com

# LE GRAND RETOUR DES DIRIGEABLES

Dans votre article sur le futur du transport aérien (n°1237), vous évoquez plusieurs pistes pour rendre les vols en avion moins polluants, mais qu'en est-il des dirigeables ? Vu les nouvelles avancées technologiques, cette solution ne serait-elle pas à considérer ?

*Rosie Bertrand, Metz (57)*

**S&V** Vous avez tout à fait raison. Le dirigeable a probablement été enterré un peu vite, en 1937, après le fameux incendie du *Hindenburg* qui avait fait 35 morts et traumatisé tout le monde. Sauf qu'à l'époque, il s'agissait d'un modèle à hydrogène peu sécurisé. Aujourd'hui, plusieurs nouveaux projets de ballons plus sûrs sont en train de voir le jour à partir de textiles techniques et de structures en carbone très résistantes. Gonflés à l'hélium, à l'hydrogène ou même "remplis" de vide *(voir* S&V *n°1233)*, ces modèles pourraient faire revenir le dirigeable sur le devant de la scène, d'autant que, comme vous le mentionnez, ils répondent parfaitement aux préoccupations environnementales actuelles. Moins polluants que l'avion et le bateau, ils offriront une capacité et une flexibilité qui pourront les rendre très attractifs pour transporter du fret n'importe où et à une vitesse avoisinant les 100 km/h. Reste à passer les longues phases de certification et de réglementation qui prennent du temps et sont incontournables en aéronautique. C'est en cours et nous ne manquerons pas de vous tenir au courant de la suite. Les premiers vols sont annoncés d'ici deux ans.

Transport aérien
Le début de la fin ?

> Bel hommage au professeur Tournesol que votre article sur la propulsion spatiale nucléaire... qu'il avait inventée en 1953. Le carburant du futur pourrait s'appeler "tournesolite" !

**Victor Lumann**, *Stampoumont (67)*
*(à propos de notre article du n°1236, p. 108)*




## CIMETIÈRES OU CHARNIERS ?

Dans votre article sur le deuil des animaux *(n°1236 p. 88)*, vous dites que les "cimetières d'éléphants" sont une légende. C'est faux : des ossuaires ont été découverts au XVIIe s. Il s'agissait de marécages où s'étaient regroupés des éléphants sentant leur fin proche. Ils y trouvaient des plantes tendres faciles à mâcher alors qu'ils avaient perdu leurs dents et mouraient de faim.

*Patrice Berardi, Fain-lès-Montbard (21)*

**S&V** Effectivement, de nombreux sites riches en carcasses d'éléphants ont été mis au jour.

# Tant de questions sur Dieu !

**J'en reviens à cet étonnant article sur la démonstration de l'existence de Dieu *(n°1235, p. 66)*, entité possédant toutes les propriétés positives. Supposons qu'il existe un critère pour décider quelles sont les propriétés positives : pourquoi s'arrêter en si bon chemin ? Dressons la liste afin de savoir si Dieu est sévère ou indulgent, interventionniste ou indifférent, et ainsi de suite... Sauf que définir Dieu, ce serait le limiter. Être illimité ne serait donc pas une propriété positive ? Aussi, qu'est-ce que l'existence ? Le rêveur et son rêve existent-ils ? Tout cela mériterait d'être développé. Vous nous laissez sur notre faim ! Un sujet de hors-série ?**

*Gauthier Fourcade, Villejuif (94)*

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour les expliquer, et notamment celle que vous apportez. Mais il se peut aussi que ces troupeaux d'éléphants soient morts ensemble lors d'une catastrophe naturelle : sécheresse, émanations géologiques de gaz asphyxiant, ou encore de la main de chasseurs d'ivoire. Dans ce derniers cas, évidemment, les carcasses sont privées de leurs défenses. Toujours est-il que ces ossuaires ne peuvent-être qualifiés de "cimetières" : contrairement à la légende, et quelle que soit l'hypothèse avancée, les éléphants ne s'y rendent absolument pas avec l'intention de tous mourir au même endroit !

## On en reparle




# DES RADIATIONS SEMBLABLES SUR LA LUNE ET SUR MARS

Nous l'évoquions dans un dossier d'avril 2017 *(S&V n°1196)* : loin du bouclier naturel terrestre, les radiations cosmiques impliquent à ce jour un *"no go"* pour les astronautes. Évalué à 640 µSv/jour par le rover Curiosity, le rayonnement à la surface de Mars engendrerait une irradiation d'environ 234 mSv pour un séjour d'un an – près de 12 fois la dose réglementaire maximale des travailleurs à risque en France. Et voilà que l'atterrisseur de la sonde chinoise Chang'e 4 vient bousculer les certitudes en affichant une dose journalière moyenne de 1 369 µSv sur la Lune... Un séjour lunaire serait-il plus à risque qu'un séjour martien ? Non, plusieurs facteurs sont responsables de cet écart. L'activité solaire, d'abord, qui, lorsqu'elle est forte, génère une baisse du rayonnement cosmique ; elle était au minimum en 2019 lors des mesures lunaires. Le coefficient de pondération, aussi, qui traduit, à dose égale, la nocivité biologique des rayonnements. *"Je ne m'explique pas cette différence car la nature du rayonnement est très similaire sur la Lune et sur Mars"*, s'interroge Jean-François Bottolier, physicien à l'IRSN. Enfin, l'atmosphère martienne et le blindage des instruments peuvent jouer. *"Si nous avions fait les mesures avec le même appareil et à la même période, nous aurions trouvé globalement la même chose"*, tranche le spécialiste. La Lune conserve donc son statut de "laboratoire" intermédiaire à une future exploration martienne. **A.P.**

ŠKODA
# KODIAQ
POUR CEUX QUI ONT SOIF DE DÉCOUVERTES


ŠKODA




## LE SUV JUSQU'À 7 PLACES.

À ceux qui pensent qu'une voiture ne peut pas être en même temps design, technologique et fonctionnelle, nous répondons avec un SUV jusqu'à 7 places à l'habitacle immense et aux lignes élégantes. Son style unique et ses technologies innovantes ne laissent rien au hasard et vont vous surprendre. **ŠKODA KODIAQ, reconnectez-vous avec ce qui compte vraiment.**

**Découvrez-le chez votre distributeur ŠKODA ou sur skoda.fr**

**Gamme KODIAQ : consommation en cycle mixte (l/100 km) min - max : WLTP : 5 - 9,4. Rejets de CO2 (g/km) min - max : WLTP : 130 - 217.**

Depuis le 1er septembre 2018, les véhicules légers neufs sont réceptionnés en Europe sur la base de la procédure d'essai harmonisée pour les véhicules légers (WLTP), procédure d'essai permettant de mesurer la consommation de carburant et les émissions de CO2, plus réaliste que la procédure NEDC précédemment utilisée.

Volkswagen Group France – S.A. – Capital : 198 502 510 € – 11, av. de Boursonne – 02600 Villers-Cotterêts – R.C.S. Soissons 832 277 370.

## PAS DANS LE BAIN, LE MOBILE !

Je suis surpris par votre réponse à la question "Peut-on s'électrocuter avec son smartphone dans son bain ?" *(S&V n°1237, p. 129)*. Vous dites qu'une tension de 230 V traverse le mobile relié au secteur. Il me semble pourtant que le rôle de l'adaptateur secteur est justement de convertir du courant alternatif 230 V en courant continu, en général de 5 V. Dès la sortie de l'adaptateur, il n'y a donc que du courant continu 5 V et non du 230 V alternatif. Le risque d'électrocution serait donc faible tant que l'adaptateur n'est pas défaillant, et qu'il n'est pas lui-même plongé dans l'eau (ce qui est en général compliqué). Ai-je faux quelque part dans mon raisonnement ?

*Julien Jousset, Longjumeau (91)*

**S&V** Vous avez été nombreux à nous faire remarquer cette erreur : dans le chargeur du téléphone, un convertisseur abaisse effectivement la tension issue du secteur en une tension de l'ordre de 5-6 V. Un téléphone en charge est donc alimenté sous une très basse tension, comme un téléphone non branché à un chargeur. Cette phrase est bel et bien une erreur, qui découle d'un malheureux remaniement de texte. Par contre, *"un téléphone relié à un chargeur branché sur du 230 V peut tout de même constituer un risque d'électrocution au voisinage d'une baignoire ou d'une douche"*, réitère Bruno Gendron, ingénieur pour l'association Consuel. Et ce, même s'il n'est alimenté que par une très basse tension de 5-6 V. Et pour cause : du fait de la présence d'eau diminuant fortement la résistance électrique du corps humain, une perte d'isolation même minime au niveau du chargeur peut mettre une personne prenant un bain ou une douche au contact du 230 V, et ainsi provoquer son électrocution. Le prouvent hélas les décès liés à l'utilisation d'un téléphone portable en charge dans une salle de bain, constatés chaque année en France, en recrudescence, et dont le nombre s'élève à plus de 5 cas par an…

## Erratum

Jérôme Siour, de Meximieux, dans l'Ain, nous fait part de son doute quant à l'article "Le café, c'est bon pour la santé" *(n°1236, p. 118)*. La boisson y est introduite comme *"la plus consommée au monde après l'eau"*. À tort : c'est le cas aux États-Unis et dans la plupart des pays européens, mais pas en Asie ni chez les géants que sont la Chine et l'Inde. C'est bien au thé que revient la première place : nos excuses pour l'en avoir privé. La responsable a été tenue de réciter de tête le nombre d'habitants de chaque pays du globe…

## On en reparle




## UN NOUVEAU STADE DU CONTRÔLE DES RÊVES A ÉTÉ FRANCHI

Imaginez choisir vos rêves comme vous choisiriez un film. Il y a deux ans, nous vous avions présenté le rêve lucide, cet état de conscience où le dormeur peut moduler le scénario de son rêve ; mais aussi des casques à électrodes et des médicaments qui en facilitent l'accès *(S&V n°1215, p. 74)*. Le rêve lucide a de nombreux effets bénéfiques : entraînement mental, arrêt des cauchemars récurrents, amélioration de la créativité… mais l'atteindre reste très difficile. Et voilà que des chercheurs du MIT, aux États-Unis, viennent de développer une nouvelle méthode aux résultats impressionnants. Ils se sont focalisés sur l'un des premiers stades du sommeil, riche en rêves : l'état hypnagogique. *"Nous arrivons à le détecter et le prolonger à l'aide d'un gant équipé de capteurs qui empêchent de sombrer dans le sommeil profond, sans pour autant se réveiller ; et à suggérer par des sources auditives des éléments qui s'intègrent au rêve"*, décrit Adam Haar Horowitz, qui a mené l'étude. Sur 67 rêves racontés par 25 personnes suivant cette méthode, près de 70 % contenaient la référence intégrée, contre 3 % dans le groupe témoin. Plus besoin d'être un rêveur lucide, donc, pour contrôler ses rêves. Et les scientifiques en sont persuadés : cette nouvelle pratique promet de faciliter les recherches. Le rôle évolutif du rêve lui-même, soupçonné d'être un entraînement à la réalité, pourrait bientôt s'éclairer. **T.C.-F.**

## Le Club Science & Vie




NOUVEAU



# LA LIBRAIRIE SCIENCE & VIE PRÉSENTE

## Le grand voyage à l'intérieur de vous-même

Avec ce beau livre, tout en images, *Science & Vie* étrenne une nouvelle collection d'édition consacrée au "monde comme vous ne l'avez jamais vu". La rédaction a ici sélectionné les images du corps humain les plus spectaculaires que les progrès de la microscopie ont permis de réaliser ces dernières années. Os, dents, muscles, cerveau… chaque coin de notre corps devient un paysage éblouissant, dont les détails révèlent la précision et la complexité de nos rouages intimes. Ce livre, conçu avec les éditions Télémaque, notre partenaire, a donc l'ambition de vous éblouir deux fois, en célébrant à la fois la beauté et l'intelligence de votre univers intérieur. Beau voyage!
*Éditions Télémaque,*
*172 pages couleur, 200 photos,*
*30 cmx25 cm, 34,90 €*

## DERNIER APPEL AUX BONNES IDÉES POUR LES PRIX *SCIENCE&VIE* !

Étudiants, startuppers ou encore inventeurs dans l'âme depuis toujours, il est encore temps: si vous avez une idée d'innovation récente et originale, vous avez jusqu'au 11 novembre pour participer aux Prix de l'innovation *Science & Vie*, sur un des thèmes suivants: nouvelles technologies, environnement, mobilité, santé, numérique.
*Toutes les informations sur www.science-et-vie.com/prix-innovation*

## UNE ÉNIGME TOUJOURS VIVANTE

Cette jeune paysanne venue des confins du royaume est à la fois la figure féminine la mieux documentée du Moyen Âge… et la plus instrumentalisée. L'image de la Pucelle est sans cesse renouvelée: une énigme fascinante pour les historiens.
*Les Cahiers de S&V, 6,50 €*






## LE MEILLEUR EST À VENIR

La quantique a 100 ans, mais c'est en plongeant au cœur de ses pires bizarreries que les théoriciens et les ingénieurs sont aujourd'hui en train de révolutionner le monde.

*S&V Hors-Série, 5,95 €*




## POURQUOI SEDAN ?

À trois reprises (1870-1914-1940), face au même adversaire, les armées françaises y furent battues. Voici pourquoi…

*S&V Guerre & Histoire 6 €*




## EN QUÊTE D'UNE AUTRE VIE

Sur Mars ? Sur les astéroïdes ? Dans les lunes glacées de Jupiter et de Saturne ? Voici où pourrait bien se cacher la vie extraterrestre…

*Science & Vie Junior, 5 €*




## POUR L'AMOUR DE L'ESPACE

De ses débuts jusqu'à sa fin, arpentez l'Univers dans toute son immensité à travers les étoiles, les galaxies et les supernovae.

*Science & Vie Junior Hors-Série, 5 €*




## ÇA EXISTE OU PAS ?

Dame blanche, bruits inquiétants, revenants qui transmettent des messages… Voici comment la science essaie d'expliquer tous ces phénomènes étranges.

*S&V Découvertes, 5,50 €*


**SCIENCE & VIE**

Une publication du groupe




**RÉDACTION**
40, avenue Aristide Briand
92220 Bagneux
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@reworldmedia.com

**DIRECTEUR DE LA RÉDACTION**
Hervé Poirier,
assisté de Christelle Borelli

**DIRECTRICE ARTISTIQUE**
Yvonne Diraison

**RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS**
Mathilde Fontez, Valérie Greffoz (rédactrice en chef du site internet), Vincent Nouyrigat

**CHEF DE SERVICE**
Muriel Valin

**CHEF DE RUBRIQUE**
Thomas Cavaillé-Fol

**RÉDACTRICE**
Fiorenza Gracci

**SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION**
Florence Roucolle

**PREMIÈRE SECRÉTAIRE DE RÉDACTION**
Anne Riera

**PREMIÈRE MAQUETTISTE**
Sophie Leclerc

**SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE**
Virginia Power (chef de service photo), Isabelle Henneron, Léa Desrayaud (infographies)

**DOCUMENTATION**
Marie-Anne Guffroy

**ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO**
S. Aquindo, L. Barnéoud, K. Bettayeb, L. Blancard, B. Bourgeois, S. Brunier, C. Buanic, F. Cadu, H. Colau, S. Ceugniet, A. Dagan, K. Davidoff, M.-P. Debray, A. Debroise, S. Devos, O. Donnars, S. Fay, P. Fricot, L. Gougis, M. Gozlan, C. Hancok, R. Ikonicoff, T. Jones, M. Kontente, G. Langin, A. Le Denn, H. Leroux, A. Périnet, B. Rey, E. Thierry-Aymé, J.-B. Veyrieras

**DIRECTION-ÉDITION**

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**
Gautier Normand

**ÉDITEUR**
Germain Périnet

**ÉDITRICE ADJOINTE**
Charlotte Mignerey

**ABONNEMENTS ET DIFFUSION**

**ABONNEMENTS**
Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Nathalie Ounnas (responsable marketing direct)

**VENTES AU NUMÉRO**
Christophe Chantrel (directeur des ventes), Siham Daassa (responsable ventes marché)
Jacky Cabrera (responsable diffusion)

**MARKETING/INTERNATIONAL**
Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon

**PUBLICITÉ**

**DIRECTRICE EXÉCUTIVE**
Élodie Bretaudeau-Fonteilles

**CONTACTS PUBLICITÉ**
Virginie Commun (50 28), Lionel Dufour (50 19)

**PLANNING** Angélique Consoli (53 52), Stéphanie Guillard (53 50)

**RESPONSABLE TRAFIC**
Catherine Leblanc (43 86)

**OPÉRATIONS SPÉCIALES**
Véronique Besse (43 89)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infolodon@publieurope.com – 44 (0)20 7927 9800) ;
Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@publieurope.com 0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@publieurope.com 0041 21 323 3110) ;
Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@publim-gestion.es 0034 91 212 83 00)

**FABRICATION**
Daniel Rougier, Agnès Châtelet

**PRÉPRESSE**
Sylvain Boularand (responsable de service)
Christophe Guérin (adjoint)

**FINANCE MANAGER**
Renaud Terrade

**ÉDITEUR**
**REWORLD MEDIA MAGAZINES SAS**
Siège social : 40, avenue Aristide Briand, 92220 Bagneux

**ACTIONNAIRE**
Reworld Media France SAS

**IMPRIMEURS :**
LENGLET, IMAYE (couverture)
N° ISSN : 0036-8 369

**N° DE COMMISSION PARITAIRE :**
1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 n^os + accès au site : 52,90 €
1 an, 12 n^os + 6 HS + accès au site : 69,90 €
Dépôt légal : novembre 2020

**RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS**
Une question sur votre abonnement ? Appelez-nous au **01 46 48 48 96** (de 8 h à 20 h, du lundi au samedi, prix d'un appel local)
Ou rendez-vous sur **www.serviceabomag.fr** dans votre espace client
Par courrier : **Service abonnement Science & Vie - CS 90125 - 27091 Évreux Cedex 9**
États-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800 363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 reworld@edigroup.ch.
Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304 reworld@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

**À NOS ABONNÉS**
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

**À NOS LECTEURS**

**RENSEIGNEMENTS**
Par courrier : 40, avenue Aristide Briand, 92220 Bagneux
Par mail : sev.lecteurs@reworldmedia.com

**ABONNEMENTS, COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC**
Tél : 01 46 48 48 96
**www.kiosquemag.com**

**AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL**
Origine du papier : Allemagne. Taux de fibres recyclées : 0 %. Certification : PEFC. Impact sur l'eau : Ptot 0,016 kg/tonne








REPRODUCTION

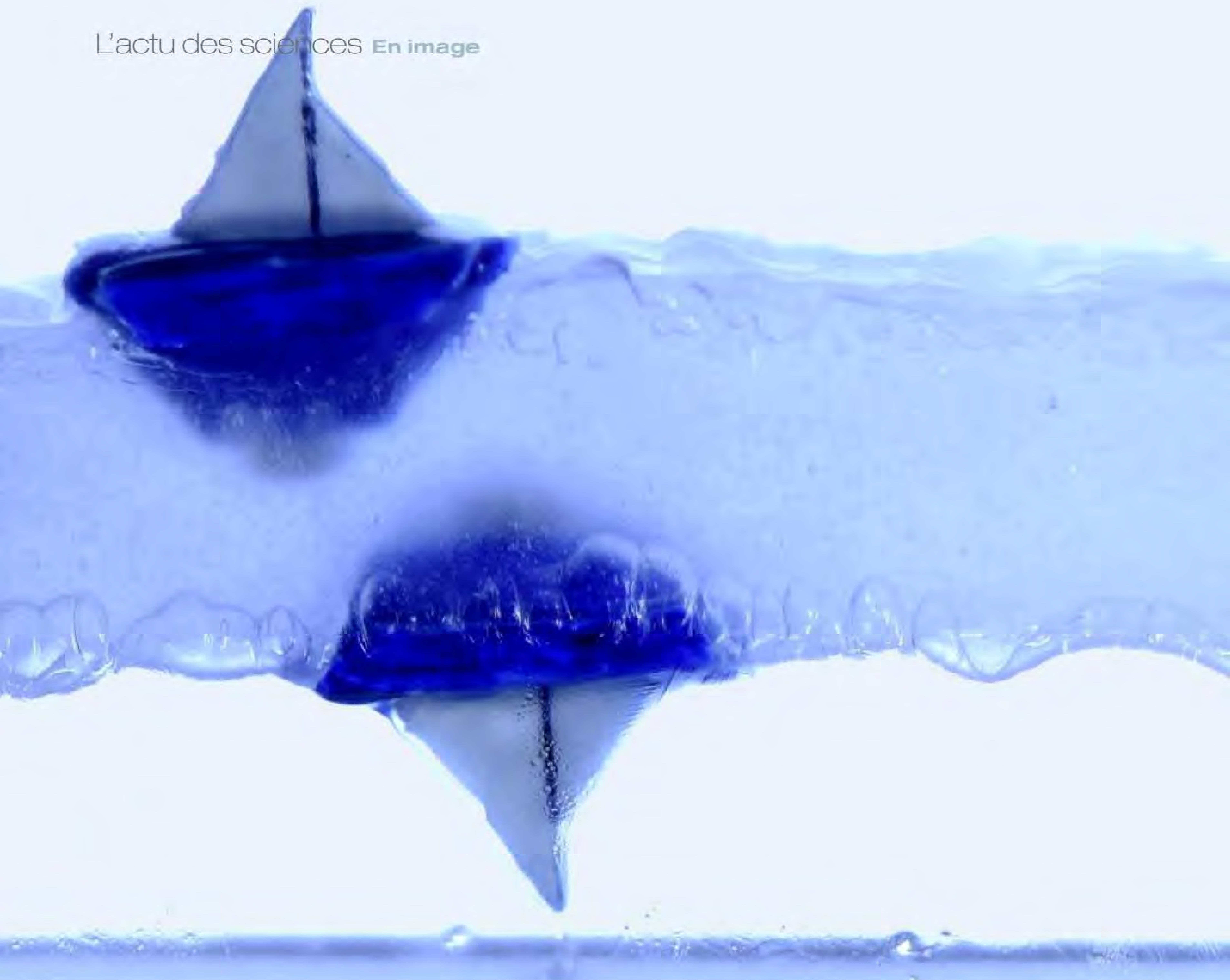
# CHAQUE OVULE ATTIRE LES SPERMATOZOÏDES QU'IL PRÉFÈRE

Dans la course entre les spermatozoïdes pour parvenir jusqu'à l'ovule et le féconder, on a longtemps cru que le gagnant était le plus rapide. En réalité, révèle une étude menée par l'équipe de John Fitzpatrick (université de Manchester), les dés sont pipés : c'est l'ovule qui choisit le gagnant en attirant jusqu'à lui certains spermatozoïdes plutôt que d'autres ! Chaque ovule émet en effet des molécules chimioattractantes. Jusqu'ici, on pensait que celles-ci avaient pour seule fonction de guider les spermatozoïdes vers le lieu de la fécondation. Mais les chercheurs viennent de montrer qu'elles permettent également d'exercer une sélection : le liquide folliculaire attire beaucoup plus certains spermatozoïdes. *"Quand on compare le sperme de deux hommes, les ovules attirent 18 à 40 % plus de spermatozoïdes de l'un des deux"*, détaille John Fitzpatrick. *Mais il n'existe pas de 'supersperme', tous les ovules ne préfèrent pas le même type de spermatozoïdes et la façon dont ceux-ci répondent aux molécules chimioattractantes dépend de la combinaison spécifique homme-femme"*. Il s'agirait donc d'une question de compatibilité. Ou d'incompatibilité. Sachant que l'infertilité reste inexpliquée dans un tiers des cas, le chercheur suggère d'étudier cette piste. **C.H.**

SCIENCE PHOTO LIBRARY/EYE OF SCIENCE



△ Ce ne sont pas les spermatozoïdes les plus rapides qui arrivent les premiers, mais ceux que l'ovule attire.



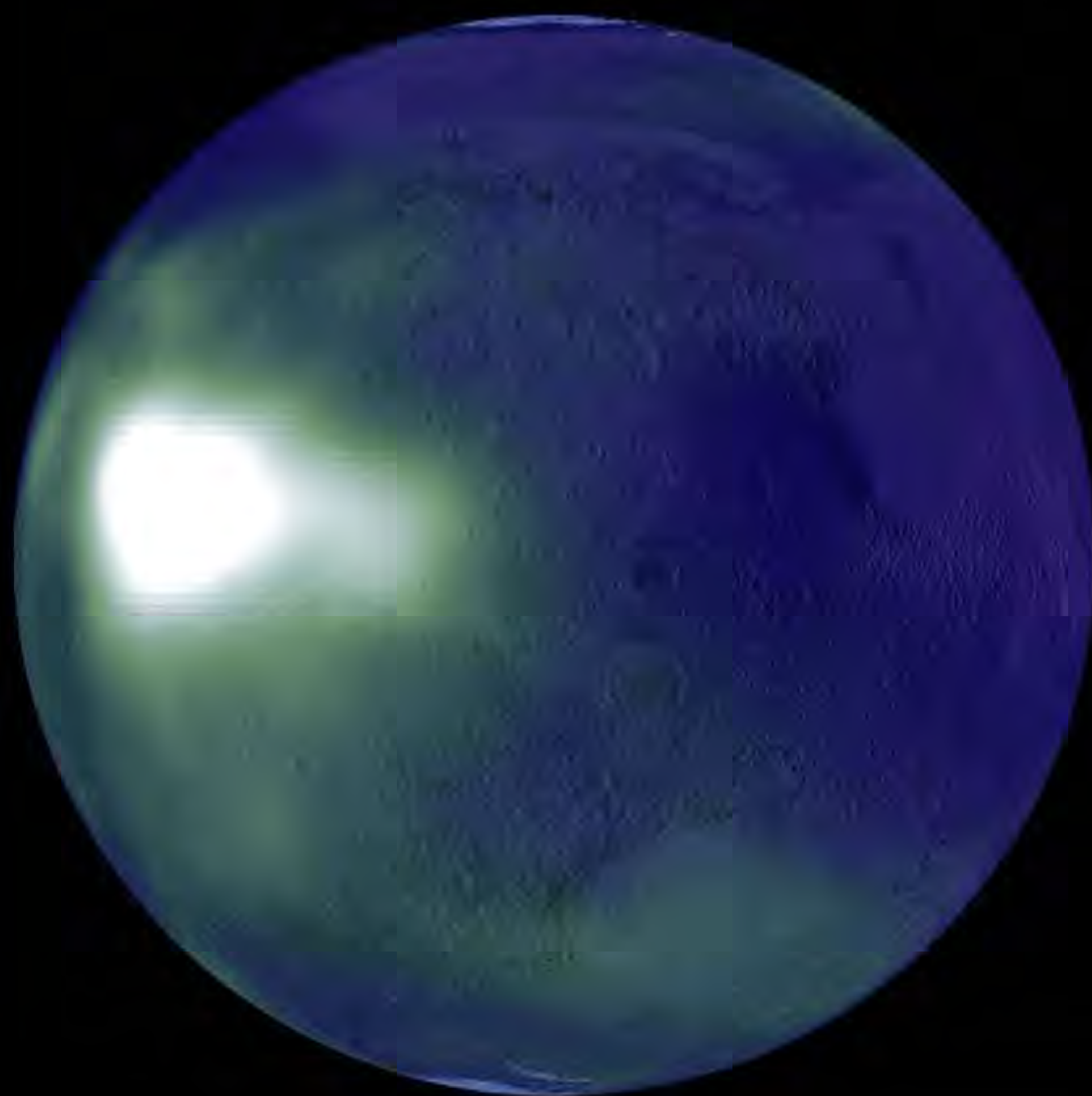
PHYSIQUE

# ILS ONT FAIT FLOTTER UN BATEAU… À L'ENVERS !

Les voiles exposées à l'air, la coque plongée dans un liquide : le petit bateau aurait presque l'air normal… si ses voiles ne pointaient pas vers le bas, dans une situation inversée, le liquide se trouvant au-dessus de l'air ! Pas de magie ici, mais une expérience de physique menée à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris (ESPCI). Dans un récipient en plexiglas de 20 cm de largeur, les chercheurs ont déposé un demi-litre d'un fluide visqueux (du glycérol teinté), avant d'insérer le récipient dans un "shaker" qui lui a imprimé des vibrations verticales. Avec une seringue, ils ont ensuite injecté de l'air sous le glycérol. *"Les vibrations stabilisent la surface air-glycérol. L'air, pourtant moins dense, reste coincé en bas"*, explique Emmanuel Fort, qui a mené l'expérience. Les forces cinétiques générées par le mouvement s'opposent en effet à la chute de gouttes de glycérol, rendant l'interface plus "rigide". L'équipe a eu l'idée de déposer dans la couche d'air inférieure des petits bateaux en plastique. Qui se sont mis à flotter à l'envers ! Comme pour une flottaison à l'endroit, le poids (vers le bas) se voit compensé par la poussée d'Archimède (vers le haut). Un équilibre qui ne durerait pas si les vibrations ne le stabilisaient pas… **A.D.**



Des vibrations verticales continues stabilisent les échanges air-glycérol, permettant à un bateau de flotter tête en bas.



BENJAMIN APFFEL ET AL., NATURE - NASA/MAVEN/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER/CU/LASP

Durant les équinoxes martiens, un halo de lumière ultraviolette surplombe l'équateur de la planète.

PLANÉTOLOGIE

# DES LUEURS ULTRAVIOLETTES ILLUMINENT LA NUIT MARTIENNE

La nuit, sur Mars, d'étranges lueurs ultraviolettes apparaissent à 70 km d'altitude. À partir des images prises par la sonde MAVEN de la Nasa durant deux ans, des planétologues ont élucidé leur origine : elles sont dues aux déplacements de l'atmosphère martienne. Comme sur Terre, l'air s'y meut sous l'influence des différences de températures, du chaud vers le froid. Des atomes d'azote et d'oxygène, produits par l'action du rayonnement solaire sur la haute atmosphère, se retrouvent ainsi du côté sombre et froid de la planète, où ils réagissent, formant de l'oxyde nitrique et émettant des rayonnements ultraviolets. *"C'est la première fois qu'on voit aussi bien la circulation globale de l'atmosphère martienne. Nous allons pouvoir tester et affiner nos modèles"*, se réjouit Franck Montmessin, spécialiste des atmosphères planétaires au Latmos, à Guyancourt. La présence de halos au-dessus des pôles aux solstices, et de l'équateur aux équinoxes, confirme que l'atmosphère emprunte des trajectoires différentes selon la saison. Mais d'autres émissions lumineuses restent mystérieuses… **A.D.**

ÉVOLUTION

# LE LYSTROSAURUS HIBERNAIT BIEN AVANT LES MAMMIFÈRES

C'est un phénomène bien connu chez les animaux polaires pour survivre. Il y a 250 millions d'années, il semblerait que le *Lystrosaurus* hibernait déjà en Antarctique, soit bien avant l'expansion des mammifères et des dinosaures, selon l'étude de deux biologistes américains. Son secret se cachait à l'intérieur de ses défenses. En effectuant des coupes transversales sur des fossiles, les chercheurs ont analysé les précieuses informations qu'elles renfermaient. *"C'est le seul moyen d'observer les signes de stress provoqués par l'hibernation. Il faut regarder un élément qui a continué à pousser tout au long de la vie de l'animal"*, explique Christian Sidor, biologiste à l'université de Washington. Par rapport aux spécimens qui vivaient plus près de l'équateur, sous un climat plus clément, les défenses des *Lystrosaurus* de l'Antarctique sont pourvues de marques de stress, rapprochées et plus épaisses, indiquant un ralentissement de leur métabolisme. *"Ces motifs sont très similaires à ceux retrouvés dans les dents de certains animaux modernes et qui sont associés à des périodes d'hibernation"*, souligne Megan Whitney, coauteure de l'étude. Cela pourrait expliquer comment ce lointain ancêtre des mammifères a pu survivre à l'extinction permienne, qui a anéanti 70 % des vertébrés. **L.G.**



**Des traces caractéristiques d'hibernation ont été identifiées dans des fossiles de défenses.**



Vaporisées d'un composé EDOT, les briques deviennent des supercondensateurs.

GETTY IMAGES/ISTOCK PHOTO - THE D'ARCY LABORATORY/WASHINGTON UNIVERSITY IN ST. LOUIS

CHIMIE

## LES BRIQUES PEUVENT STOCKER DE L'ÉLECTRICITÉ !

Ce sont de banales briques rouges, achetées quelques dizaines de centimes d'euro dans n'importe quel magasin de bricolage. Mais une fois passées dans les mains des chimistes de l'université Washington, à Saint-Louis, elles se transforment… en supercondensateurs. Résultat : il suffit de plonger les deux fils conducteurs d'une LED dans leur masse pour que celle-ci s'allume pendant une dizaine de minutes ! La brique constitue en réalité le support du supercondensateur. Les chercheurs la vaporisent avec de l'acide et un composé appelé EDOT (3,4-éthylènedioxythiophène) qui, à 160°C, réagit

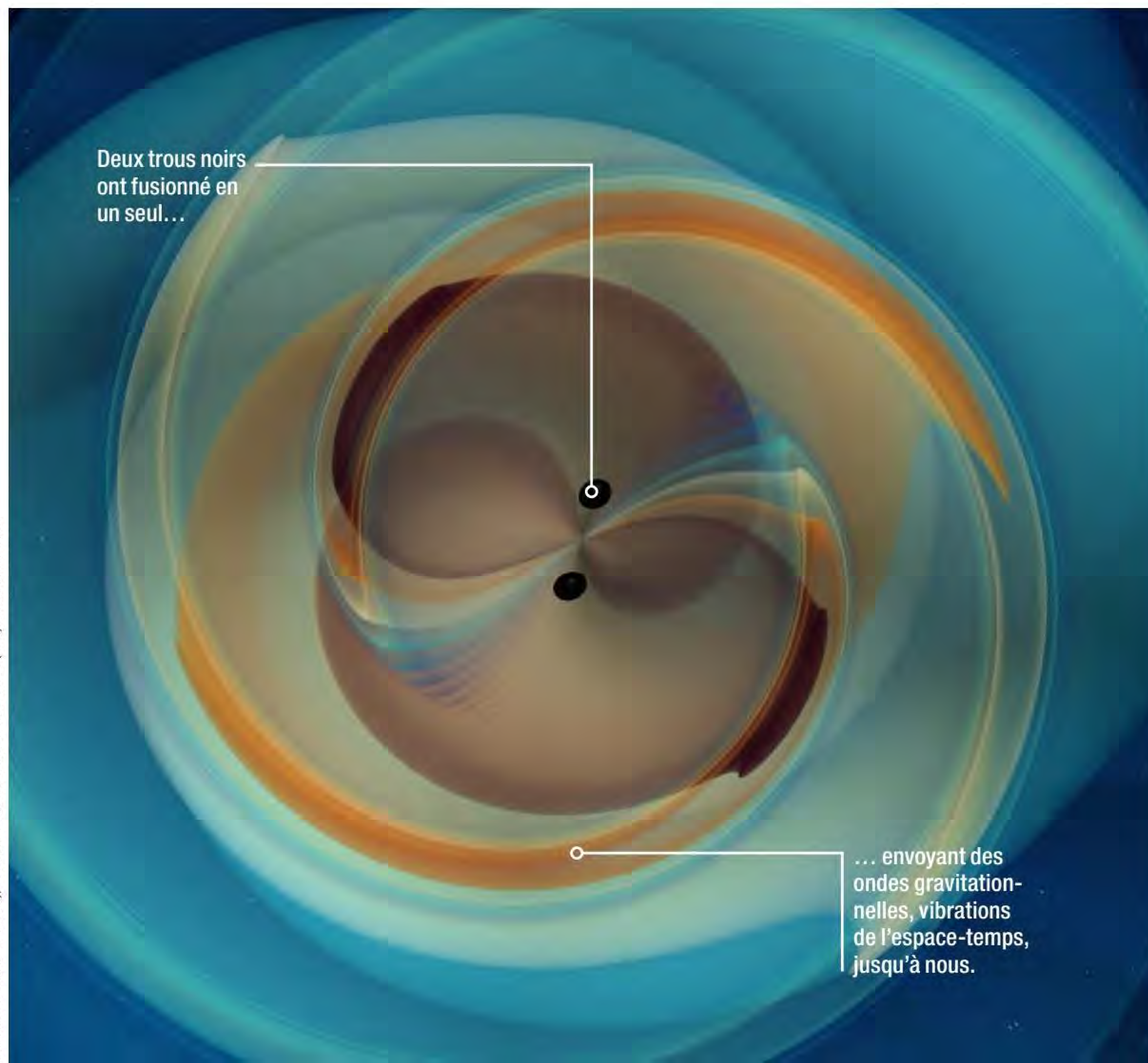


avec l'oxyde de fer de la brique pour polymériser. Les filaments de poly-EDOT conducteurs envahissent alors entièrement le support poreux, qui devient noir. Plongées dans une substance conductrice (un électrolyte gélifié), les briques vont alors faire office d'anode ou de cathode. Chargées en une dizaine de minutes, une cinquantaine de ces briques peuvent ainsi alimenter une lampe de bureau LED pendant près d'une heure et encaisser plus de 10000 cycles de charge-décharge. *"C'est la preuve d'un concept particulièrement original,* observe Vanessa Fierro, de l'institut Jean-Lamour, à Épinal. *Mais il reste à définir comment l'intégrer à l'architecture et à en apprécier la réelle plus-value."* Il faudra aussi trouver comment recharger d'une manière efficace et pratique ces systèmes de stockage d'énergie "immobiliers" d'un nouveau genre. **A.D.**

# Ça reste à prouver…

## LE SOLEIL AURAIT EU UN FRÈRE JUMEAU

Les observations sont claires: les systèmes binaires d'étoiles sont assez courants au sein de notre galaxie. Et si notre étoile, aussi, avait eu un compagnon dans un passé reculé? Cette idée, proposée pour la première fois en 2017 sur la base d'analogies avec des étoiles similaires au Soleil, peut sembler farfelue, mais elle a pourtant récemment suscité l'intérêt de deux astronomes de l'université Harvard (États-Unis). Dans une étude publiée par la revue spécialisée *Astrophysical Journal Letters*, les chercheurs détaillent cette thèse et montrent qu'elle pourrait résoudre un épineux problème du Système solaire: le nuage de Oort. Ce vaste ensemble de corps célestes encercle notre étoile à plus de 20000 fois la distance Terre-Soleil, et son origine reste inconnue. De précédentes simulations avaient montré que, seule, notre étoile n'aurait pas suffi à capturer gravitationnellement les milliards d'objets qui composent ce nuage. *"Un système binaire, en revanche, présenterait une efficacité de piégeage des petits astres bien supérieure à celle d'une étoile seule, et pourrait donc expliquer l'origine de ce fameux nuage aux confins de notre système"*, estime Amir Siraj, l'un des coauteurs de l'article. Les astronomes avancent un autre argument de poids: l'existence d'un ancien compagnon du Soleil rendrait beaucoup plus solide le scénario de capture d'une 9e planète, dont la présence est désormais fortement suspectée bien au-delà de la ceinture de Kuiper. Aussi alléchante soit-elle, cette idée ne semble néanmoins pas convaincre tous les spécialistes. *"Comment le nuage de Oort aurait-il pu survivre à l'événement qui a déstabilisé l'étoile compagnon du Soleil? C'est une contrainte clé… qui n'est hélas pas discutée dans l'article"*, déplore Alessandro Morbidelli, spécialiste de la dynamique du Système solaire à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Affaire à suivre… **S.D.**




N.FISCHER, H.PFEIFFER, A.BUONANNO (MAX PLANCK INSTITUTE FOR GRAVITATIONAL PHYSICS), SIMULATING EXTREME SPACETIMES (SXS) COLLABORATION

ASTROPHYSIQUE

# UN TROU NOIR DE MASSE INÉDITE A ÉTÉ DÉTECTÉ

La preuve de l'existence de trous noirs de taille intermédiaire est enfin là ! Les détecteurs d'ondes gravitationnelles Ligo, aux États-Unis, et Virgo, en Italie, ont enregistré la naissance d'un trou noir d'une masse équivalente à 142 fois celle du Soleil. Formé il y a 7 milliards d'années, c'est aussi le plus ancien jamais enregistré. Il résulte de la fusion de deux autres trous noirs, de 85 et 65 fois la masse du Soleil. Le signal, d'un dixième de seconde, a été détecté le 21 mai 2019 à 5 h 02 par les astronomes de la collaboration Ligo/Virgo, qui enregistrent les secousses de l'espace-temps provoquées par des mouvements d'objets massifs. Jusqu'à présent, seules des preuves indirectes suggéraient la présence de ce type de trous noirs, de 100 à 100 000 fois plus massifs que le Soleil. Cette découverte pourrait notamment expliquer l'origine des trous noirs supermassifs. *"Nous avons la confirmation qu'ils peuvent naître de fusions de trous noirs de masse intermédiaire"*, se réjouit Michela Mapelli, membre de la collaboration Ligo/Virgo et chercheuse en astrophysique à l'université de Padoue, en Italie. **P.F.**

J'agis avec ENGIE

« Moi je veux cuisiner plus local, mais pour le gaz, je fais comment ? »

Avec l'option Gaz Vert+(1) dans votre contrat gaz naturel, c'est

**de 5 à 100 % de gaz vert produit en France.**

Dès 1,50 € par mois.
Et du 12/10/2020 au 08/11/2020
**2 mois offerts(2).**

Plus d'infos sur particuliers.engie.fr ou au 3102(3)

ENGIE

**L'énergie est notre avenir, économisons-la !**

(1) Option Gaz Vert+ de votre contrat gaz naturel : ENGIE achète l'équivalent de la quantité de gaz naturel consommée par le client, à hauteur du pourcentage qu'il a choisi, en gaz d'origine renouvelable et en Garanties d'Origine, directement auprès d'un groupe de producteurs de biométhane dont les sites de production sont situés en France. Option résiliable à tout moment sans frais, avec effet à la fin du mois en cours. 1,50 € TTC par mois pour 5 %, jusqu'à 30 € TTC par mois pour 100 % de Gaz Vert.
(2) Du 12 octobre au 8 novembre 2020, 2 mois de forfait offerts pour la souscription de l'option Gaz Vert+. La remise apparaîtra distinctement sur votre facture d'énergie. Offre réservée aux clients particuliers titulaires d'un contrat de gaz naturel en offre de marché avec ENGIE, hors offre Happ-e ou offre Mon Gaz Vert.
(3) Service et appel gratuits.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images, Stocksy.



Les tumeurs métastasent en traçant leur propre chemin.

BIOLOGIE

# LES CELLULES CANCÉREUSES SUIVENT UN "FIL D'ARIANE" CHIMIQUE

Des biologistes du Centre de recherche sur le cancer à Glasgow (Écosse) ont enfin compris comment les cellules cancéreuses se propagent dans notre corps. Généralement, les cellules sont attirées par des signaux chimiques, qui s'amenuisent au-delà d'une très courte distance. Or, il y a six ans, les chercheurs écossais ont découvert que les cellules de mélanome traçaient en fait leur propre chemin. *"Elles sont attirées par la LPA, une molécule présente dans tout l'organisme et qu'elles dégradent,* explique le biologiste Robert Insall. *En la détruisant au fur et à mesure, les cellules créent leur propre gradient chimique."* Un peu comme un fil d'Ariane ramassé sur leur route et dont elles effacent les traces. *"Elles arrivent à détecter les culs-de-sac (…),* souligne le biologiste. *Et même se décident à suivre un chemin plutôt qu'un autre, n'hésitant pas à prendre des raccourcis."* Ce qui explique comment certaines métastases parviennent dans des endroits difficiles d'accès comme le cerveau. **O.D.**

SCIENCE PHOTO LIBRARY/EYE OF SCIENCE

# 7,8°C

**C'était la température moyenne lors du dernier âge glaciaire, il y a 20000 ans. Selon un modèle établi par des géoscientifiques américains à partir des données de fossiles de plancton océanique, il faisait donc en moyenne 6°C de moins qu'aujourd'hui. Le refroidissement le plus important touchait les pôles, plus sensibles aux changements climatiques, où l'écart avec les températures actuelles atteignait 14°C. L.G.**

SUZUKI

Way of Life!*

*Un style de vie !

NOUVELLE

# IGNIS HYBRID

## LE SUV ULTRA COMPACT

**99 € / MOIS** (1)

**ENTRETIEN INCLUS** (2)

LLD 37 mois - 1er loyer 3 620 €




Nouveau design, nouvelle motorisation, nouveaux équipements : choisissez simplement le bonheur d'être libre et prenez une nouvelle direction avec la **NOUVELLE SUZUKI IGNIS HYBRID.**

Également disponible en 4 roues motrices ou en boîte automatique.

# IGNIS, PRENEZ L'INITIATIVE

**Réservez dès à présent votre essai individuel, sur rendez-vous selon l'heure et le jour de votre choix sur essai.suzuki.fr**

**Consommations mixtes gamme Nouvelle Suzuki Ignis (NEDC corrélé - WLTP) : 3,9 - 5,1 à 4,3 - 5,6 l/100 km. Émissions $CO_2$ cycle mixte (NEDC Corrélé - WLTP) : 89 - 114 à 97 - 126 g/km.**

(1) Exemple de loyer au 01/09/2020 en Location Longue Durée pour 37 mois et 30000 kilomètres pour une Suzuki Ignis 2020 1.2 Dualjet Hybrid Avantage, avec un 1er loyer majoré de 3 620 €, puis un loyer de 99 € TTC/mois pendant 36 mois, dans la limite des stocks disponibles. Hors peinture métallisée. **Offre réservée aux particuliers majeurs, valable du 01/09/2020 au 15/11/2020 inclus,** dans le réseau participant. Sous réserve d'acceptation de votre dossier par Arval Service Lease - SA au capital de 66 412 800 € - immatriculée sous le n°352 256 424 RCS Paris. Siège social : 1, bd Haussmann - 75009 Paris - Identifiant CE FR 68352256424 - ORIAS n° 07 022 411. **Modèle présenté : Suzuki Ignis 1.2 Dualjet Hybrid Pack, en LLD pour 37 mois et 30 000 kilomètres avec un 1er loyer majoré de 4 000 €, puis un loyer de 137 € TTC/mois pendant 36 mois + en option peinture métallisée So'Color.** (2) Les loyers comprennent les services associés suivants (en option et dans les limites et conditions prévues aux contrats de LLD et d'Assurance) : Entretien inclus • Assistance + : 24h/24 7j/7 au véhicule et aux passagers • Assurance Perte Financière, souscrite auprès de Greenval Insurance DAC, compagnie d'assurance de droit irlandais, enregistrée sur le numéro 432783, siège social : Trinity Point, 10-11 Leinster Street South, Dublin 2, Irlande (info@greenval-insurance.ie) ; supervisée par la Banque Centrale en Irlande. Le détail du contenu des services associés est disponible auprès de Arval Service Lease.

**Garantie constructeur 3 ans ou 100 000 km au 1er terme échu.**

## 3 DÉCOUVERTES SUR…

# PLUTON

**Longtemps considérée comme la 9e planète du Système solaire, Pluton a été reclassée en 2006 comme une planète naine parmi d'autres. Ce qui n'empêche pas les planétologues de continuer à l'étudier et à découvrir d'étonnantes caractéristiques sur son origine et son évolution.**

PAR **OLIVIER DONNARS**

1

### À sa naissance, Pluton était chaude

La planète naine n'aurait pas toujours été gelée, et elle hébergerait même, aujourd'hui encore, un océan liquide sous son épaisse couche de glace. On pensait jusqu'à présent que cet océan était né de la fonte des glaces sous l'effet de la chaleur dégagée par la désintégration radioactive du noyau rocheux. Mais des images prises en 2015 par la sonde New Horizons montrent des failles d'extension à la surface de Pluton, traces de la glaciation d'une eau préexistante. Pour les planétologues américains qui ont étudié ces images, Pluton devait donc être plutôt chaude lors de sa formation, avant de refroidir petit à petit. Et cet océan souterrain existait déjà au tout début de sa vie, il y a près de 4,5 milliards d'années.

2

### Ses lunes viendraient de Charon

Cinq lunes orbitent autour de Pluton : les minuscules Styx, Nix, Kerbéros, Hydre, et la plus grande, Charon, qui, avec ses 1 200 km de diamètre, fait presque la moitié de la taille de la planète naine. On pensait que ces cinq lunes étaient nées de la collision d'un astéroïde avec Pluton. Mais deux astrophysiciens américain et anglais pensent plutôt qu'un astéroïde d'environ 100 km de longueur aurait percuté Charon, déjà née, il y a 1 milliard d'années, jetant assez de débris pour entourer Pluton et Charon et former les quatre petites lunes.

3

### Son atmosphère est en train de disparaître

L'atmosphère de Pluton est difficile à observer depuis la Terre. La dernière tentative remontait à 2016 et montrait que depuis 1989, elle était en croissance. Mais tout a changé. Selon les observations d'astronomes japonais, la pression atmosphérique semble avoir chuté de plus de 20 % depuis 2016. Sputnik Planitia, une plaine glacée qui s'étend sur une grande partie de Pluton, pourrait en être la cause. Jusqu'à présent, elle faisait face au Soleil, libérant des gaz dans l'atmosphère. Mais Sputnik Planitia ne serait plus exposée au Soleil et commencerait à se refroidir, provoquant la condensation de l'atmosphère en glace.

NASA/JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE



**BOSCH**

Des technologies pour la vie

## Des Technologies
pour la vie

**www.bosch.fr**

Depuis de nombreuses années le groupe Bosch travaille à la protection du climat et la qualité de l'air.
D'ici fin 2020, Bosch sera neutre en carbone sur ses 400 sites dans le monde et Bosch France sera au rendez-vous !


twitter.com/BoschFrance

Shutterstock-Blazej Lyjak



Une maquette réduite a permis de démontrer que les sons à l'intérieur de l'enceinte s'amplifient et ne s'échappent pas.

ANDREW BROOKS

ARCHÉOACOUSTIQUE

# LE SITE DE STONEHENGE DISPOSAIT D'UNE ACOUSTIQUE EXCEPTIONNELLE

C'est ce qu'ont découvert des acousticiens de l'université de Salford, au Royaume-Uni. À l'aide d'une imprimante 3D, ils ont fabriqué une maquette du site néolithique à l'échelle 1:12, en prenant soin d'y ajouter les 17 pierres manquantes sur les 157 pierres originelles. La maquette a ensuite été placée dans une chambre sourde, bardée de micros et de haut-parleurs. Les acousticiens ont diffusé des bruits allant des très basses aux très hautes fréquences, et ont mesuré la réverbération des sons sur l'édifice. Et surprise ! *"Stonehenge n'a pas de toit et son enceinte est criblée d'espaces ouverts, on s'attendrait donc à ce qu'à l'intérieur le son décroisse et se perde au loin rapidement,* rapporte Trevor Cox, un des acousticiens. *Au contraire, le son rebondit de pierre en pierre, ce qui l'amplifie tout en l'empêchant de sortir de l'enceinte."* De l'extérieur, on n'entendait donc aucun son. Stonehenge était un lieu de rituels funéraires. Seuls les participants se trouvant à l'intérieur profitaient donc des chants et de la musique. **O.D.**

CHIMIE

## DE L'ULTRABLANC POUR REFROIDIR LES BÂTIMENTS

Pour moins absorber la chaleur du soleil, une équipe de l'université de Californie propose de modifier la composition des peintures blanches qui revêtent les immeubles. *"On peut soit remplacer le dioxyde de titane par la baryte et le Téflon, soit en passer une couche sur la peinture traditionnelle"*, souligne Jyotirmoy Mandal. Résultat : 98 % (au lieu de 85 %) de la lumière du soleil peut ainsi être réfléchie, et les coûts de refroidissement des bâtiments réduits de 50 % ! **S.F.**

# La Laitière : le bio respectueux



Rythme, alimentation, soin… Mickaël, paysan bio en Mayenne, nous dit tout de la vie des vaches sur sa ferme.

**En quoi le bio est-il important pour vous ?**

À titre personnel, c'est une réflexion profonde, un mode de vie à part entière. Une manière d'être en harmonie avec soi-même et le vivant qui nous entoure, de respecter et protéger notre biotope.

> « Nous faisons tout pour que les vaches soient heureuses »

**Pouvez-vous nous raconter comment vivent les vaches sur votre exploitation ?** Nous sommes très attachés au fait de placer le troupeau dans les meilleures conditions de vie. Les vaches sont nourries avec une alimentation intégralement issue de la ferme. Elles sortent au pré dès que la météo le permet, en moyenne 310 jours par an sur ma ferme. Nous veillons à leur bien-être par une observation régulière et recourons aux médecines alternatives comme l'homéopathie. Et nous respectons les cycles naturels de reproduction au printemps.

**Comment les vaches sont-elles nourries ?** Nos vaches sont nourries avec de l'herbe issue de la ferme, soit fraîche dans les pâturages de mars à décembre, soit récoltée en foin pendant l'hiver. En complément, elles reçoivent des céréales également produites sur la ferme (blé, orge, avoine). Le régime est également varié par la flore de prairies diversifiées. Tout cela assure une traçabilité sécurisante !

**Comment travaillez-vous avec La Laitière ?**

L'onctuosité, la saveur, la typicité du lait résident dans l'équilibre qu'il nous revient de protéger entre la terre, l'animal et tous les mécanismes vivants. La Laitière fait ensuite en sorte que le lait garde sa structure, son empreinte, son terroir, afin de fabriquer de délicieux yaourts et desserts.




**DÉLICE À LA VANILLE**

Le secret de la texture ferme et fondante du yaourt bio de La Laitière, c'est du bon lait entier bio français et une fermentation lente à l'étuve. Un plaisir gourmand préservé dans un petit pot en verre.



## MIEUX QUE BIO : BIO ET LOCAL

**En plus d'être bio, La Laitière garantit un bon lait bio collecté auprès de ses éleveurs partenaires dans la région Grand Ouest, où est située sa laiterie de Laval.**

La Laitière veut le meilleur pour ses éleveurs comme pour ses consommateurs ! Dans un souci de produire bio et local, le lait entier 100 % français ainsi produit est ensuite acheminé vers Laval, où sont fabriqués les délicieux yaourts de la gamme La Laitière Bio. C'est ce qui donne aux yaourts vanille ou au citron de La Laitière Bio ce goût que l'on aime tant !






RETROUVEZ LES ENGAGEMENTS SUR **LALAITIERE.FR**

© Getty Images/iStockphoto

POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE MANGER TROP GRAS, TROP SUCRÉ, TROP SALÉ. WWW.MANGERBOUGER.FR



> La couronne bleue est le signe d'une combustion parfaitement propre.

SCIENCE DE LA COMBUSTION

# ON A PERCÉ LE SECRET DU CERCLE DE FEU BLEU

En 2016, alors qu'ils recréaient en laboratoire la combustion d'une nappe de carburant, des physiciens de l'université du Maryland avaient observé un étrange cercle de feu bleu. *"Lorsque les proportions entre carburant et air sont optimales, la combustion ne produit que dioxyde de carbone, vapeur d'eau et azote, et la flamme émet dans le bleu,* explique Fabien Halter, de l'université d'Orléans. *Si le mélange est trop riche en carburant, il produit des suies riches en carbone et une lumière orange."* En modélisant la combustion, les chercheurs américains ont identifié quatre flammes : une verte, en bas, riche en carburant ; une violette, en haut, constituée des restes de carburant se consumant ; une couronne bleue, où l'oxygène a diffusé de manière idéale dans le carburant ; et une flamme orange, riche en suie. Or il suffit d'une instabilité pour que cette dernière s'effondre et laisse place à une combustion quasi idéale. Reste à apprendre à provoquer ce type de flamme afin de brûler proprement des nappes de pétrole. **A.D.**

ROBOTIQUE

# LE PLUS PETIT MICROROBOT AUTONOME PÈSE MOINS D'UN DIXIÈME DE GRAMME

SRIRAM BHARATH HARIHARAN/UNIVERSITY OF MARYLAND - AMSL/USC

Pour être autonome, un robot a généralement besoin d'une batterie. Mais comment en construire d'assez petites et légères pour les microrobots ? Une solution vient d'être inventée par l'équipe de Nestor Perez-Arancibia, de l'université de Californie du Sud, qui a réussi à rendre autonome RoBeetle, un robot de 88 mg pour 15 mm. *"Il s'agit d'un muscle artificiel qui s'étend et se contracte sans électricité"*, explique le chercheur. Ce muscle est en fait un câble constitué d'un alliage à mémoire de forme recouvert d'un catalyseur, le platine. Ce dernier, mis en contact avec des vapeurs de méthanol et l'oxygène de l'air, facilite leur combustion, ce qui produit de la chaleur et fait contracter le câble. cette contraction coupe l'arrivée du méthanol et donc la production de chaleur : le câble retrouve sa forme initiale. En répétant ce cycle de contraction et de détente, les pattes avant de RoBeetle se soulèvent et s'abaissent, le faisant ramper à la vitesse de quelques dixièmes de mm/s. Il peut même progresser avec une charge de 2,6 fois son poids : de quoi transporter des composants électroniques. **S.F.**



en bref...

**LES CHAUVES-SOURIS S'ADAPTENT À LEURS PETITS**
Tout comme nous parlons aux bébés plus lentement et plus aigu, les femelles chauves-souris modifient leur voix face à leurs petits. Et les mâles leur transmettent la "signature vocale" du groupe. **L.G.**

**ON PEUT DUPLIQUER UNE CLÉ EN ÉCOUTANT SON CLIQUETIS**
Le cliquetis de votre clé dans la serrure pourrait vous trahir ! Une application développée à l'Université nationale de Singapour est capable d'identifier votre modèle de clé crantée rien qu'à sa signature sonore. **O.D.**

# Passer au reconditionné, c'est la meilleure occasion de se faire plaisir.

Chez Orange, les téléphones reconditionnés sont testés et révisés par des experts et garantis pendant 1 an*. **Venez découvrir nos téléphones reconditionnés à prix avantageux dans nos boutiques et sur orange.fr**





## UNE RESSOURCE ESSENTIELLE MENACÉE

M.KONTENTE - I. FASSBENDER/AFP

### 12 %

**La proportion des émissions françaises de gaz à effet de serre** (équivalent $CO_2$) absorbées et stockées chaque année par nos forêts – environ 70 millions de tonnes (ONF). Sachant que 1 m³ de bois renferme 1 t de $CO_2$, soit un aller-retour Paris-New York.

### 41 %

**La part du bois dans les énergies renouvelables,** loin devant l'hydraulique (20 %), les biocarburants (9 %) ou l'éolien (7 %). Avec 9 millions de tonnes équivalent pétrole, la France est le premier consommateur européen de bois pour l'énergie.

### 70 millions

**Le nombre d'arbres qu'il faudrait planter chaque année** (soit 1 par habitant) pendant les trois prochaines décennies pour sauvegarder les forêts françaises face au réchauffement climatique, selon un rapport remis en septembre au ministère de l'Agriculture.

**Malgré un automne arrosé, nos arbres ressortent exsangues de trois étés consécutifs extraordinairement secs et chauds** –celui de 2020 a été le plus aride jamais mesuré. À ce rythme, le réchauffement pourrait transformer certaines forêts en steppes! Les scientifiques sont en quête de remèdes.

PAR **VINCENT NOUYRIGAT**

# Comment sauver la forêt française ?

## Une France très forestière

La forêt couvre aujourd'hui 16,9 millions d'hectares, soit 31 % de notre territoire, contre 19 % en 1908.




SOURCE: INVENTAIRE FORESTIER, IGN, 2019

**LES FEUILLUS MAJORITAIRES EN FRANCE MÉTROPOLITAINE**

En 2019



Au détour d'un sentier ou au bord d'une route, vous avez peut-être été récemment confrontés à ce spectacle macabre : un pan de forêt roussie, peuplé d'arbres aux branches fines, agonisantes, et au tronc parcouru de suintements noirâtres et de lambeaux d'écorce. Des scènes d'horreur qui se multiplient actuellement dans l'Hexagone, sous le regard de sylviculteurs affolés…

Les réunions de crise ont beau s'enchaîner au ministère de l'Agriculture, les méfaits du réchauffement climatique semblent irréversibles : *"Nos forêts viennent de vivre trois années consécutives de sécheresse extrême durant leur période végétative, le tout associé à des canicules exceptionnelles. C'est inédit,* souffle Brigitte Musch, responsable du conservatoire génétique de l'Office national des forêts (ONF). *Un peu comme un boxeur qui encaisse une série de coups, certaines espèces sont en train de basculer."*

Le K.-O. n'est plus très loin pour les épicéas de la région Grand Est et de Bourgogne-Franche-Comté. Très affaiblis par le manque d'eau, ces résineux sont devenus depuis deux ans la proie facile de nuées de scolytes, des coléoptères mangeurs de bois qui les tuent en quelques semaines. Environ 10 % des forêts d'épicéas des plaines du nord-est de la France ont déjà été éliminées, et le fléau pourrait s'étendre aux massifs d'altitude. Ce n'est pas tout : ces scolytes s'attaquent aussi aux sapins déshydratés de Franche-Comté ou des monts du Beaujolais.

### ASSOIFFÉS ET INFESTÉS

La situation est à peine moins inquiétante pour le pin sylvestre, en Brenne ou en Corrèze, qui ne peut plus résister à l'assaut d'un autre insecte, le bupreste bleu – ceux qui n'ont pas encore été atteints rougissent déjà de soif. Pauvres résineux…

Les feuillus ne sont pas en meilleur état. À commencer par les hêtres qui accusent, depuis le printemps 2019, une forte mortalité dans le Doubs, les Vosges et la Haute-Saône. *"Certains arbres se sont soudain totalement desséchés, devenant incapables de produire de nouvelles feuilles. C'est un phénomène qui nous était jusqu'ici inconnu"*, confie un ingénieur forestier. Tandis que les sécheresses extrêmes finissent d'achever les châtaigniers d'Ile-de-France, aux racines déjà rabougries par la maladie de l'encre. Les chênes ne montrent pas encore de signes aussi inquiétants, mais de vénérables spécimens de chênes sessiles et pédonculés commencent à trépasser dans les massifs de l'Allier et en forêt de Chantilly (Oise). *"Avec les canicules qui sévissent désormais, les feuilles sont exposées en plein soleil à des températures de plus de 55 °C qui les font littéralement cuire,* explique Michel Vennetier, chercheur



**L'évapotranspiration est bloquée**

Pour éviter de perdre trop d'eau, les feuilles ferment leurs stomates. Mais cette réaction bloque la photosynthèse : l'arbre ne grandit plus et ne constitue plus de réserves pour les années suivantes. Moins bien refroidies, les feuilles risquent aussi de se nécroser en cas de canicule.



BRIGITTE **MUSCH**
Responsable du conservatoire génétique de l'ONF

Comme un boxeur qui encaisse une série de coups, certaines espèces sont en train de basculer

D.KUNKEL MICROSCOPY/SPL - HERVÉ COCHARD/UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE - M.KAGE/SPL/BIOSPHOTO - DR

# Comment le réchauffement abat les arbres



### L'arbre devient vulnérable aux ravageurs

Sans réserve d'énergie, le système immunitaire affaibli, les arbres résistent moins bien dans les années suivantes aux attaques d'insectes (scolytes, buprestes bleus, etc.) et de champignons.

en écologie forestière (Irstea). *Tous les arbres qui ont grandi dans des sols humides et profonds et qui ont développé un abondant feuillage prennent une claque !"* Mais même les sous-bois méditerranéens, couverts de thym et de romarin, jaunissent.



### La sève ne parvient plus à circuler

Lorsque les racines ne trouvent plus d'eau, des bulles d'air se forment dans les vaisseaux de l'arbre. Ces embolies bloquent la circulation de la sève vers les parties aériennes, qui dépérissent.

*"La situation est devenue explosive, les capacités de réponse des végétaux sont totalement dépassées par cet enchaînement de sécheresses"*, s'alarme Catherine Bastien, généticienne des arbres forestiers à l'Inrae. Au point que certaines forêts menacent de se transformer en steppes. Sans parler des incendies, qui ont frappé cet été jusqu'en forêt de Fontainebleau et en Sologne.

## LE TEMPS PRESSE

Le constat est d'autant plus cruel que les forêts représentent l'un de nos meilleurs atouts pour affronter l'avenir *(voir* Science & Vie *n° 1226)*: en France comme ailleurs, tout le monde compte dessus pour absorber une partie des émissions de carbone, modérer les canicules, préserver la biodiversité, lutter contre l'érosion, filtrer l'eau, améliorer les rendements agricoles, ou tout simplement se reconnecter à la nature…

Songez aussi que le bois de chauffage représente dans notre pays la première source d'énergie renouvelable; et le bois d'œuvre, si vertueux et chaleureux, est considéré comme le matériau de construction du futur; il aura la part belle dans la nouvelle réglementation environnementale pour les bâtiments neufs.

Comment, alors, sauver la forêt française ? Les laboratoires font feu de tout bois pour trouver un moyen de régénérer les peuplements qui dépérissent et renforcer la résilience des forêts futures. *"C'est de la recherche en temps réel, il faut tout tester en même temps, un peu comme pour le traitement contre le coronavirus"*, compare Arndt Hampe, biologiste évolutionniste à l'université de Bordeaux. *"On ne peut plus se permettre de réaliser les protocoles expérimentaux habituels, qui s'étendent sur plusieurs décennies en pépinière.*

*Il faut mener les essais directement en forêt : nous avons besoin de résultats maintenant"*, confirme Myriam Legay, directrice d'AgroParisTech-Nancy. L'urgence est totale car les spécimens plantés aujourd'hui devront affronter des conditions dignes de l'Andalousie à la fin du siècle. Espèces plantées, organisation des massifs : tout est à repenser !

**TRANSFERT DE GRAINES**

*"Nous avons constaté dans les forêts touchées par la sécheresse que certains spécimens résistent beaucoup mieux que les autres,* témoigne Brigitte Musch. *La diversité génétique au sein d'un même peuplement est considérable, bien plus qu'au sein de la population humaine. Il ne faut pas négliger cette piste."* L'ennui, c'est que quelques vaillants survivants ne suffiront sans doute pas à reconstituer des forêts entières…

Les chercheurs misent plutôt sur le transfert de graines de chêne, hêtre ou sapin provenant du pourtour méditerranéen vers le nord et le centre de la France. De fait, ces spécimens ont réussi à s'épanouir dans des régions hyperarides grâce à toutes sortes de stratégies : par exemple, en limitant leur transpiration, en déployant efficacement leurs racines, en décalant leur période de croissance pour éviter les grosses chaleurs… Cet apport de nouveaux gènes, au fil des générations, permettra ainsi de fortifier les peuplements locaux par hybridation ; les différentes essences de chêne se mélangent sans mal dans la nature. *"Ces spécimens mieux adaptés auraient colonisé naturellement les régions situées plus au nord,* fait remarquer Brigitte Musch, *mais le transport des graines par le vent ou les oiseaux va dix fois moins vite qu'il ne le faudrait pour répondre au réchauffement actuel."*

Les premières expériences de migration assistée ont déjà commencé, avec par exemple l'implantation de plants de hêtres de la Sainte-Baume (Var) en forêt de Verdun (Meuse), au sein de ce que l'ONF appelle des "îlots d'avenir". Toutes les possibilités sont désormais envisagées, comme faire appel à des chênes zéens, qui prospèrent en Espagne et en Algérie, ou encore aux chênes de Kasnak, présents en Turquie ; et pourquoi pas aux hêtres d'Orient, ou encore aux sapins de Bornmüller, originaires de Turquie, ou aux sapins grecs de Céphalonie. Il n'y a plus de tabou. Les scientifiques réfléchissent même à importer des espèces totalement exotiques, tel le calocèdre de Californie ou le (magnifique) copalme d'Amérique.

**DES RISQUES À PRENDRE**

Le cèdre de l'Atlas, qui a pris ses aises dans le Luberon depuis son introduction au XIX[e] siècle, constitue une option très crédible. *"À condition que ces espèces résistent aussi aux grands froids, qui continuent malgré tout de s'abattre en hiver sur notre pays",* relève Éric Paillassa, ingénieur au Centre national de la propriété forestière.

# 3 stratégies pour revitaliser les forêts



## 1 Tester de nouvelles essences

Les scientifiques commencent à transférer des graines d'arbres issus de pays arides vers nos forêts françaises. Cet apport de nouveaux gènes devrait permettre à nos peuplements de mieux résister au manque d'eau et à la chaleur.

FABRICE MORIN/NATURIMAGES - A.ROGERIE/ONF - D.DELFINO/BIOSPHOTO

## Comment résister aux futurs mégafeux ?

Les modèles sont formels : vers la fin du siècle, l'ensemble du territoire français présentera un niveau de risque aux incendies équivalent à celui de l'arrière-pays méditerranéen actuellement. Pour y faire face, le choix des espèces sera crucial. Des candidats ? Équipé d'une écorce pouvant atteindre 25 cm d'épaisseur, le chêne liège résiste au passage du feu ; la haute silhouette du pin maritime lui permet d'échapper aux flammes ; tandis que le pin parasol est capable de survivre avec 80 % de ses aiguilles brûlées. Autre option, *"le pin d'Alep,* suggère Thierry Gauquelin, de l'Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie. *Il est inflammable, mais la chaleur de l'incendie assure l'ouverture de ses cônes enduits de résine, libérant ses graines qui germeront sur les sols brûlés"…*





## 3 Établir des connexions entre forêts

Les différents massifs forestiers d'un territoire ne sont pas isolés : en jouant sur ces connexions, et en ajoutant ici ou là un peuplement aux caractéristiques particulières, les scientifiques comptent renforcer la résilience des forêts.



## 2 Tenter des associations d'arbres inédites

Plusieurs études montrent que mélanger différentes espèces d'arbres assure une meilleure résistance aux sécheresses et aux ravageurs. L'association de feuillus et de résineux semble la plus avantageuse.

*"Il va falloir prendre des risques… Tout notre socle de connaissances, établi sous un climat stable, est remis en question,* reconnaît Brigitte Musch. *Nous venons d'établir une liste de 37 critères de choix de ces nouvelles essences, à commencer par la résistance à la sécheresse, la capacité d'absorption du $CO_2$, la qualité du bois, le caractère invasif ou allergène…"* La résistance aux mégafeux devra aussi être envisagée *(voir encadré ci-contre)*: le chêne liège est, par exemple, un modèle de survie.

Encore faudrait-il résister à la tentation de semer de vastes monocultures, certes faciles à exploiter, mais très vulnérables aux aléas. Une méta-analyse publiée en septembre, portant sur 624 cas d'étude depuis 1966, montre que les insectes herbivores créent 20 % de dégâts en moins sur les forêts mélangées que sur les plantations à une seule espèce ; un avertissement pour les sinistres champs de pins Douglas et leurs sages alignements, qui ont gagné le Morvan. L'association d'arbres feuillus et résineux semble particulièrement prometteuse : *"Il est très rare que des insectes s'attaquent à la fois à des pins et à des chênes,* souligne Hervé Jactel, entomologiste forestier à l'université de Bordeaux. *Mieux, les chênes vont cacher les pins aux yeux de leurs ravageurs et les signaux olfactifs émis par les feuillus*

*sont souvent des repoussoirs pour ces insectes. Une forêt plus diversifiée est aussi plus accueillante pour leurs prédateurs que sont les oiseaux, chauves-souris et araignées."* Les sylviculteurs commencent d'ailleurs à considérer avec intérêt les bosquets de chênes et de bouleaux jouxtant les plantations pures de pins maritimes des Landes de Gascogne.

Grâce à ces mélanges, la forêt devient plus saine, plus résiliente et même davantage productive. Car la compétition entre espèces est beaucoup moins rude qu'entre arbres de la même essence partageant, par exemple, les mêmes stratégies d'approvisionnement en eau. Un véritable compagnonnage peut même s'établir: tel type d'arbre aux racines profondes permettra de faire remonter la nappe d'eau au profit de tous, tel autre améliorera les apports en azote grâce à ses feuilles mortes. Charge aussi aux sylviculteurs de laisser suffisamment de bois mort, gage de biodiversité et de fertilité des sols, d'espacer un minimum les plants pour permettre aux pluies fines de parvenir jusqu'à la terre, de miser sur des arbres jeunes qui vont s'adapter aux sécheresses en développant des feuillages moins exubérants que leurs aînés. *"Avec deux essences d'arbre sur une même parcelle, l'effet est déjà majeur. On peut monter jusqu'à trois… Au-delà, cela pose des problèmes d'exploitation"*, analyse Hervé Jactel.

Ce taux de mélange peut sembler très minimaliste, comparé aux projets de forêts primaires luxuriantes qui se multiplient en France *(voir ci-dessus)*. Pour autant, la diversité forestière ne se joue pas simplement au niveau d'une parcelle, mais aussi à l'échelle d'une région. De plus en plus de scientifiques réfléchissent à une mise en réseau de pans de forêt séparés de quelques kilomètres: les graines légères d'une essence présente dans le bois A pourraient essaimer, au gré du vent, dans la forêt B ravagée par une sécheresse, une tempête, une maladie…

### LIBRE COURS À LA NATURE

*"La sylviculture n'a eu de cesse de simplifier les forêts ces derniers siècles. Notre ambition serait de les aménager en s'inspirant de la science de la complexité,* expose Christian Messier, directeur de l'Institut des sciences de la forêt tempérée (Université du Québec en Outaouais). *Redondance, connectivité fonctionnelle, nœuds centraux… Nos simulations montrent qu'à l'échelle d'une région nord-américaine, il faudrait établir un réseau de dix espèces d'arbres aux traits morphologiques et physiologiques variés pour pouvoir affronter les menaces à venir."*

Mais le sauvetage de la forêt ne se fera pas seulement par des interventions humaines, sans doute coûteuses et harassantes. L'essentiel de nos massifs parvient à se régénérer naturellement, via les graines qui tombent au sol… À condition, clament les forestiers, de mieux réguler les populations de cerfs et chevreuils qui dévorent les jeunes plants. Et puis les arbres poussent aussi spontanément sur les terrains agricoles abandonnés – la forêt française gagne en moyenne 90 000 ha par an. *"Ceux qui s'établissent sur d'anciens pâturages très riches connaissent une forte croissance et une bonne capacité de pompage du carbone,* constate Arndt Hampe. *Les populations de chênes qui sont apparues en lisière des plantations des Landes semblent aussi moins sensibles aux épisodes de sécheresse."*

Apporter des espèces d'arbres jusqu'ici inconnues. Oser de nouvelles associations. Repenser les forêts à l'échelle du paysage. Trouver un juste milieu entre intervention humaine et libre cours à la nature, entre plantations et forêts naturelles. *"Il faudra peut-être trente ans pour savoir si les options choisies sont les bonnes,* estime Catherine Bastien. *Les incertitudes sont énormes. Mais si on n'entreprend rien maintenant, on court à la catastrophe."*

## Des forêts primaires recréées de toutes pièces

Val-d'Oise, Tarn, Vosges du Nord… Les projets citoyens se multiplient pour reconstituer des forêts primaires tempérées sur notre territoire. Ces collectifs (Semeurs de forêt, Projet Silva, Association Francis Hallé) se sont déjà lancés dans l'achat de vastes terrains, la sélection d'une trentaine d'essences d'arbres autochtones, le semis très dense (méthode Miyawaki). Il ne reste plus qu'à laisser faire la nature pendant environ un millénaire… sans aucune intervention humaine. *"Ces belles initiatives permettront de former des forêts d'agrément urbaines ou périurbaines, mais ce n'est pas jouable à grande échelle"*, pense Hervé Jactel. *"Il ne faut pas avoir une vision trop romantique: le nombre d'espèces présentes va vite décroître et gare au réchauffement"*, ajoute Myriam Legay.

IL EST **MALIN,**
CE **GODIN !**



Depuis 1840, GODIN entretient la flamme de son fondateur, l'industriel et philanthrope Jean-Baptiste GODIN.

Notre maîtrise absolue des procédés de fabrication de la fonte vous apporte la garantie d'un travail soigné et de qualité.

**GODIN** CHAUFFAGE CHEMINÉES CUISINES CUISINIÈRES

**www.godin.fr**

RCS Arras 301 942 090

# Voici l'effet des politiques écologiques sur la pollution



## France
### Encore une marge de progression

Entre 2010 et 2016, les émissions de particules fines ont baissé de 12,4 à 9,6 µg/m³. Des chiffres voisins de ceux de l'Allemagne et de l'Italie, fruits de 50 ans de politique environnementale européenne. La régulation des émissions de l'industrie et des transports a permis de prévenir 80 000 morts prématurées par an en Europe. Mais loin derrière les pays scandinaves, qui affichent moins de 6 µg/m³ !

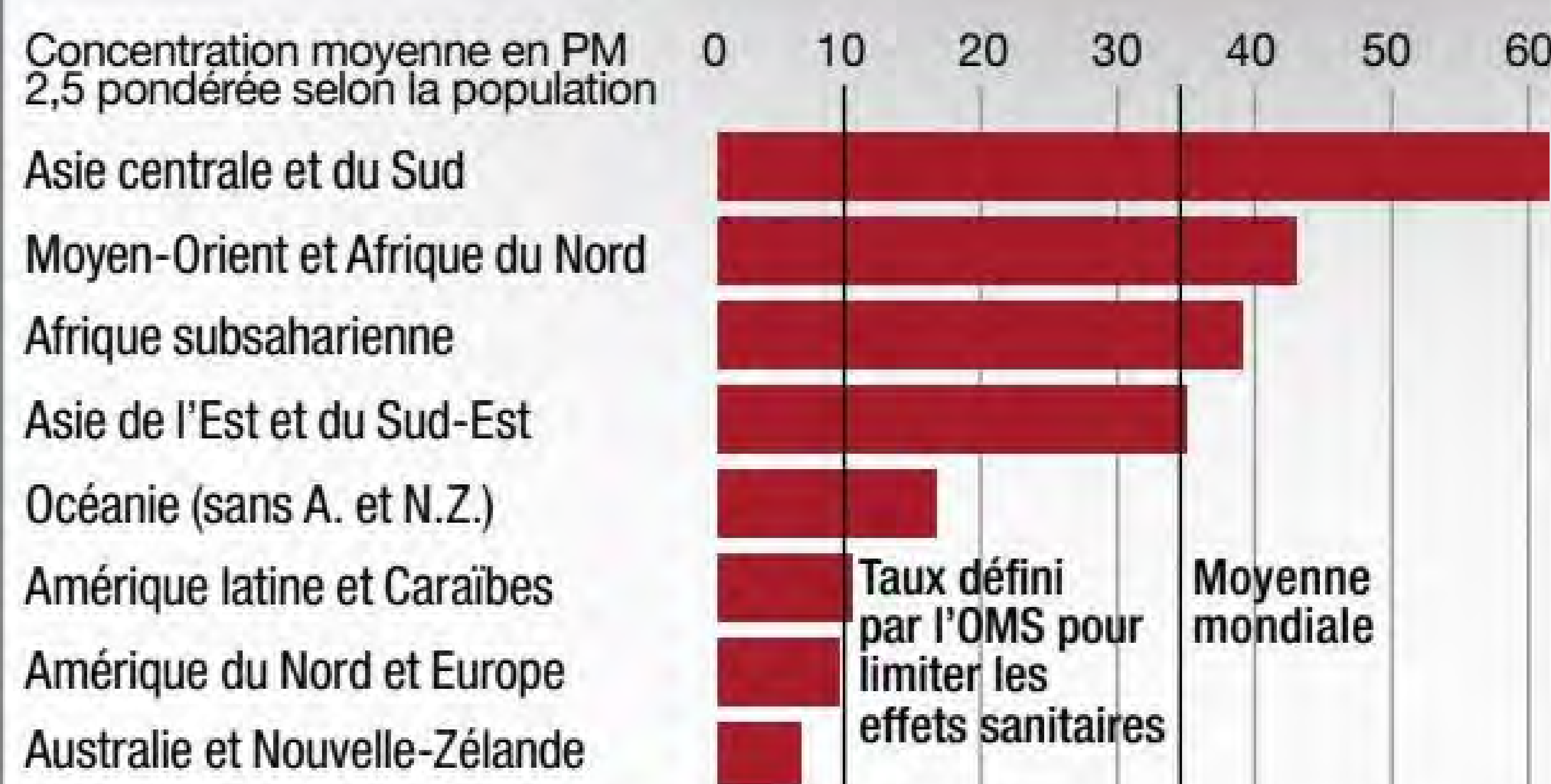
## Canada
### Des mesures qui payent depuis 30 ans

Ce sont les taux de concentration de particules fines les plus faibles du Globe : 3,1 µg/m³ en 2016. Le résultat de mesures de contrôle des industries dès le milieu du XXe s., et d'autres processus de régulation plus sévères instaurés il y a 30 ans. D'où des émissions qui ont baissé de 57 % entre 1990 et 2014. La chute n'est plus aussi forte aujourd'hui (–1 µg/m³ en 6 ans) ; poursuivre cette dynamique est un défi.

## Nigeria
### Une prise de conscience

Urbanisme galopant aidant, les concentrations explosent dans le pays le plus peuplé d'Afrique : 62,9 à 75,5 µg/m³ en 6 ans ! 7 fois plus que ne le recommande l'OMS. En cause : la combustion des hydrocarbures, la circulation et les groupes électrogènes pour parer aux coupures de courant. Mais la mise en place d'un système d'évaluation de la qualité de l'air marque un début.

ANYFORMS DESIGN - L.DESRAYAUD



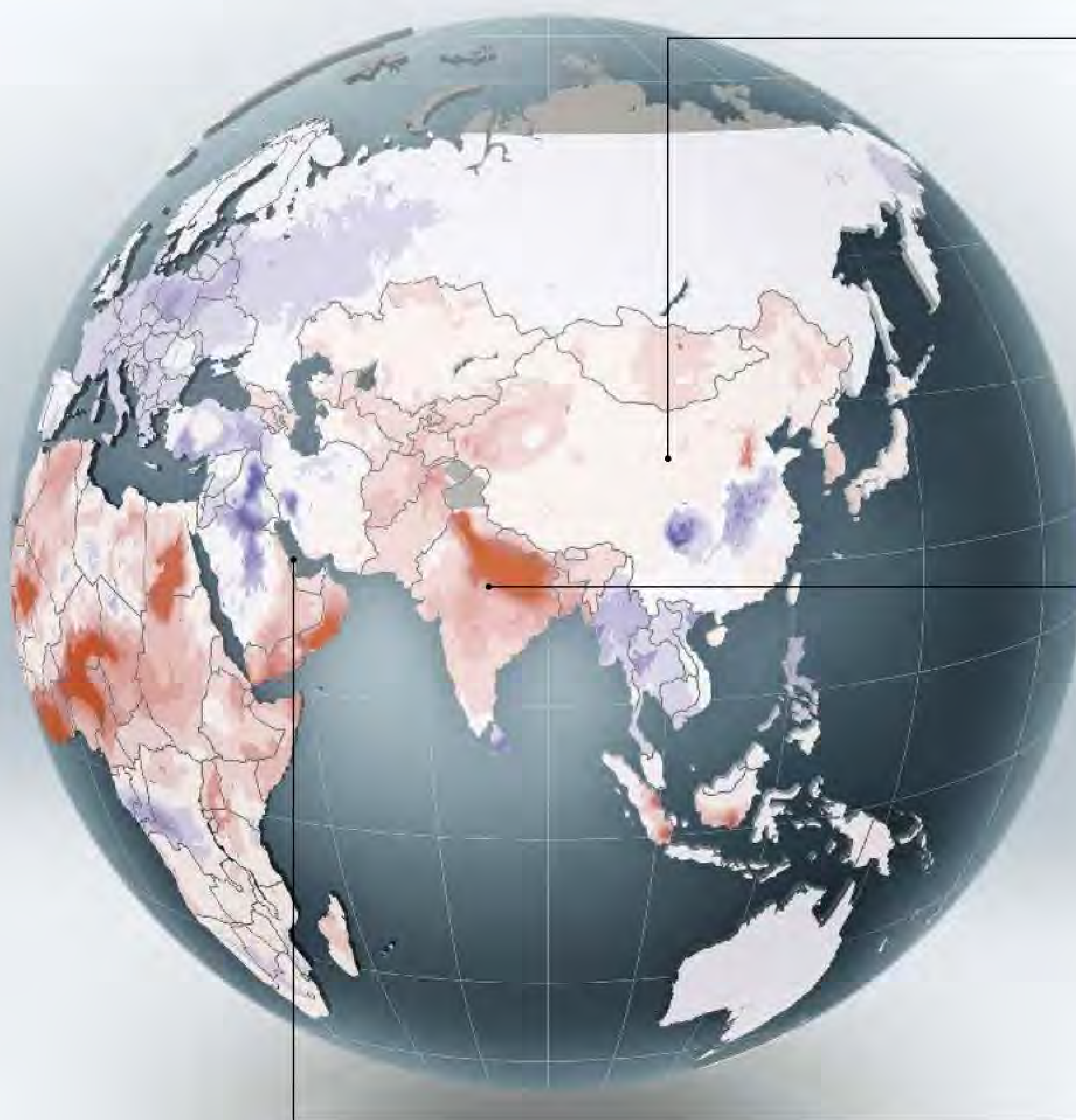

## Des populations plus ou moins touchées

En baisse, la part de la population exposée à des taux supérieurs à 10 µg/m³ était de 90 % en 2016, surtout grâce aux politiques nord-américaine et européenne. Mais cette part augmente en Asie centrale et du Sud où les pics touchent des zones très peuplées.

SOURCE : NATURE, 2020

**Alors que les concentrations de particules fines dans l'air provoquent chaque année plusieurs millions de décès dans le monde,** de nombreux pays ont mis en place des politiques environnementales de régulation des industries et des transports… Avec des résultats disparates. Sachant que 55 % de la population continue à être exposée à des niveaux croissants.

PAR **LISE GOUGIS**



## Chine

### Un recul rapide

Après un pic en 2013, à 37,3 µg/m³, les concentrations ont baissé à 32,7 µg/m³ en 2016. Un recul rapide qui correspond à la mise en place en 2013 d'un plan contre la pollution dans des régions clés, comme Pékin et Shanghai. Parmi les mesures radicales : la suppression des activités industrielles des centres-ville, la réduction de la circulation, voire son arrêt les jours de pollution, ou encore la fin du chauffage au charbon.

## Inde

### Une population fortement exposée

Les taux pondérés selon la population sont passés à 68,8 µg/m³, avec un impact important sur la santé. En cause : l'absence de régulation de l'activité industrielle et des transports en ville, parfois aggravée par la météo. Les zones rurales ne sont pas épargnées, car les combustibles fossiles sont très utilisés. Mais des mesures ont été prises en 2016 pour connecter au réseau GPL 37 millions de personnes vivant sous le seuil de pauvreté.

## Qatar

### Des effets… d'annonce

C'est le pays du Golfe aux taux les plus élevés : 74,1 µg/m³ en 2016. Voire plus de 100 µg/m³ localement en ville, selon l'OMS. La qualité de l'air est certes influencée par les tempêtes de poussières, mais la surexploitation des énergies fossiles est pointée du doigt. Les dirigeants annoncent des projets en faveur des énergies renouvelables, mais les effets tardent.

**4,2 millions**

C'est le nombre de décès imputables, dans le monde, à la pollution atmosphérique en 2016, selon les estimations de l'Organisation mondiale de la santé. Un chiffre qui a augmenté de 124 % en 50 ans.

**38 %**

C'est l'augmentation des émissions de particules fines entre 1960 et 2009 dans le monde, en grande partie sous l'influence de la Chine et de l'Inde.

CONCENTRATIONS
EN PARTICULES FINES (PM 2,5)
(variation 2010-2016 en µg/m³)




Pas de données

# L'étrange affaire... de la maladie qui paralyse les enfants



**Rappel des faits**
Depuis 2014, la myélite flasque aiguë revient mystérieusement tous les deux ans aux États-Unis, qui ont enregistré 638 cas en six ans. Un nouveau pic est redouté cet automne.

Les médecins américains ont lancé l'alerte début août. La myélite flasque aiguë, un syndrome neurologique rare qui touche essentiellement les enfants vers l'âge de 5 ans, pourrait faire son retour cet automne. Depuis 2014, des pics épidémiques surviennent tous les deux ans aux États-Unis, où 638 cas ont été recensés. L'Europe et même le Canada semblent, eux, relativement épargnés avec seulement quelques dizaines de cas. Or l'inquiétude grandit outre-Atlantique : chaque vague épidémique est en effet plus forte que la précédente, alors que la maladie reste une énigme.

Tout commence par un rhume avec de la fièvre et des symptômes respiratoires. Rien de plus banal. Sauf qu'en quelques jours, une faiblesse musculaire d'un ou plusieurs membres apparaît brutalement. *"La paralysie résulte de l'inflammation anormale d'un endroit particulier de la moelle épinière, la corne antérieure. Selon la zone atteinte, les membres associés deviennent tout mous"*, explique Mélodie Aubart, neuropédiatre à l'hôpital Necker. Dans les cas les plus graves, le tronc cérébral est touché, enrayant toutes les fonctions automatiques du corps : impossible d'avaler sa salive ou même de respirer. Un quart des patients ont besoin d'un respirateur artificiel et des séquelles motrices sont observées dans 90 % des cas.



Cette myélite, qui touche les enfants autour de 5 ans, dégénère inexplicablement en symptômes proches de ceux de la polio.

B.L.FRANK/NYT-REDUX-REA - S.AQUINDO

Ces symptômes ressemblent beaucoup à ceux de la polio. *"En fait, c'est une maladie que l'on connaît bien, mais qui n'existait pas de cette manière-là avant,* analyse Mélodie Aubart. *Habituellement, ce type d'inflammation paralyse les deux côtés du corps, alors que dans le cas de ces myélites, un seul côté peut être touché, ce qui est assez atypique."* Mais l'hypothèse de la polio ne tient pas : ce virus est quasi éradiqué de la surface de la Terre grâce à une vaccination généralisée – aucun patient atteint de myélite n'a d'ailleurs été testé positif.

Les chercheurs ont deux suspects principaux : les entérovirus D68 et A71. *"Les pics épidémiques de myélites coïncident étrangement avec le cycle de ces virus, qui reviennent aussi tous les deux ans, le temps qu'il y ait une nouvelle génération de personnes non immunisées pour leur permettre de circuler à nouveau"*, rapporte Kevin Messacar, pédiatre spécialiste des maladies infectieuses au Children's Hospital Colorado. Sauf qu'habituellement, ces entérovirus n'entraînent pas de telles complications : leurs effets se limitent plutôt à de modestes rhumes ou des gastro-entérites. *"On ne comprend pas pourquoi certains enfants vont faire une myélite alors qu'il s'agit du même virus. Nous recherchons donc s'il existe des facteurs génétiques"*, révèle Mélodie Aubart.

Dans certains cas, aucune trace de virus n'a été retrouvée. Impossible alors de déterminer la cause de la myélite. *"Le problème, c'est qu'on ne le détecte pas dans le liquide rachidien. On a pu le retrouver dans le nez ou dans les selles, mais s'il n'y est pas, on ne sait pas si c'est parce qu'il a disparu ou s'il n'a jamais été présent"*, poursuit la spécialiste. De récentes études pourraient permettre de remédier à ce problème. *"Des anticorps correspondant à ces enté-*

*rovirus ont pu être détectés, indiquant que l'organisme les a combattus, même s'ils ne sont plus là. C'est une découverte importante pour mieux diagnostiquer ces cas de myélites à l'avenir"*, assure Kevin Messacar.

Reste que les chercheurs ignorent encore comment ces virus déclenchent de tels symptômes. *"De la même manière que pour le SARS-CoV-2, on ignore si le virus attaque directement la moelle ou déclenche la réaction inflammatoire"*, note Mélodie Aubart. Et il n'existe pour l'heure aucun véritable traitement. *"On essaie de limiter l'inflammation avec des corticoïdes ou des immunomodulateurs, mais c'est parfois insuffisant."* Dans l'attente d'un éventuel vaccin ciblant ces deux virus, les médecins sont démunis. Ils espèrent que les mesures prises pour limiter la pandémie de Covid-19 empêcheront un nouveau pic. Les chiffres enregistrés aux États-Unis fin août se voulaient rassurants, avec 21 cas recensés jusque-là en 2020. Mais un retour en force dans les semaines à venir, ou à l'automne, n'est pas à écarter. **Lise Gougis**








# Quotas de chasse : laissons la science décider !

*"Une règle de trois fondée sur une approximation."* Voilà comment ont été établis les derniers quotas de chasse à la tourterelle des bois, selon le juge des référés du Conseil d'État ; lequel s'est empressé, le 11 septembre, de suspendre le tir de ce migrateur très vulnérable pour la saison 2020-2021. Cette incroyable légèreté n'est pas étonnante dans un pays à la gâchette aussi facile : la France n'hésite pas à chasser des espèces d'oiseaux migrateurs menacées d'extinction – barge rousse, eider à duvet, vanneau huppé… Le gouvernement s'était pourtant engagé l'année dernière à ajuster les prélèvements de ces espèces en fonction de l'état de leur population et de leur habitat. Las, aucun instrument de mesures n'a été mis en place. Le groupe d'experts créé en mars 2019 est inaudible. Pis, les fédérations de chasse commencent à monter leurs propres comités "scientifiques", dont les intentions paraissent très discutables. Alors que la décision de chasser telle ou telle espèce migratrice devrait reposer sur une analyse rigoureuse et objective ! C'est-à-dire sur de multiples analyses génétiques permettant de bâtir de solides modèles démographiques ; l'analyse isotopique de leur plumage, révélatrice de leurs sources d'alimentation ; la pose de colliers GPS reconstituant leur trajectoire ; l'étude de leurs sites de nidification, menacés par l'agriculture intensive. Pour, au final, décider si, oui ou non, il serait scientifiquement possible d'abattre 0, 10, 200 ou 30000 spécimens sans mettre l'espèce en péril. Quitte à faire fulminer le lobby des chasseurs… ou les associations de protection de la nature.

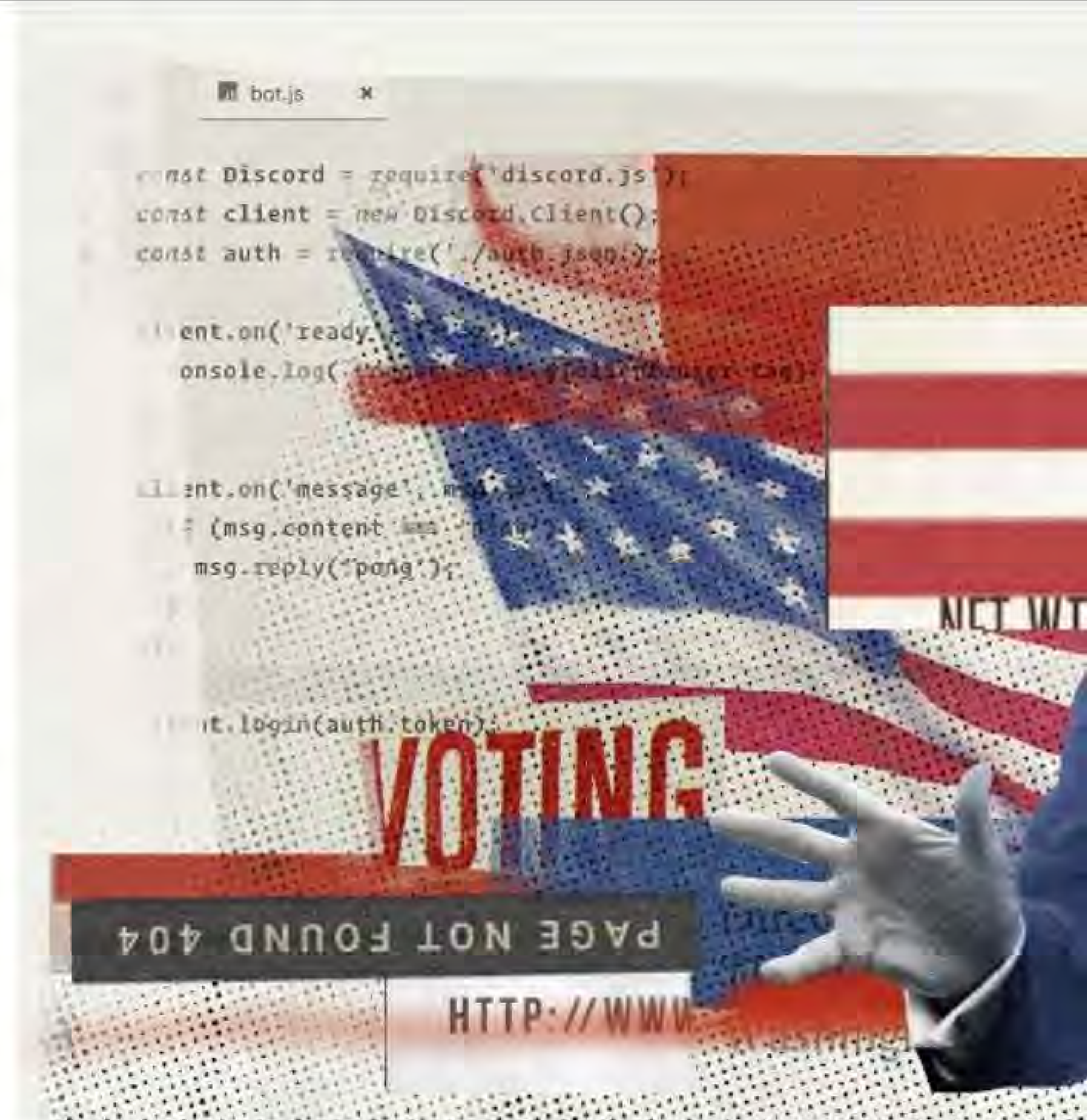
**La rédaction de *S&V***

# L'IA va-t-elle bousculer l'élection américaine ?

Trump ou Biden ? Alors que la campagne des élections américaines bat son plein, une nouvelle menace tient les chercheurs en haleine depuis plusieurs mois. Quels nouveaux outils d'intelligence artificielle risquent d'être déployés et testés à cette occasion au profit de la désinformation ? Et quel poids cela risque-t-il d'avoir dans les prochains résultats ? L'inquiétude est grande, car depuis plusieurs mois, les progrès réalisés dans ce domaine ont montré qu'il était devenu de plus en plus facile de générer des textes de manière automatique et de faciliter ainsi la création de *fake news* à la chaîne, dans un internet déjà bien mis à mal par la profusion de contenus douteux.

*"Les textes synthétiques, que j'appelle des 'readfakes'* [en référence aux deepfakes, ces fausses vidéos dopées à l'IA, ndlr], *pourraient vraiment porter les opérations de désinformation à une autre échelle"*, prévient Camille François. La chercheuse n'est pas une novice en la matière. Ancienne cadre de Google, cette spécialiste du *big data* est directrice de l'innovation chez Graphika, une société américaine spécialisée dans la chasse à la désinformation organisée sur les réseaux sociaux. Elle a déjà débusqué plusieurs campagnes d'influence prorusses ou prochinoises menées sur les réseaux américains en 2020.

Elle a surtout contribué à disséquer les campagnes d'influence russes menées pendant la campagne présidentielle américaine de 2016. C'est elle, notamment, qui a prouvé le rôle joué par l'organisation russe Internet Research Agency (IRA), agissant pour le compte du Kremlin et rebaptisée "usine à trolls" par les spécialistes, dont l'activité a consisté à arroser les réseaux sociaux ou les médias en ligne de commentaires, d'opinions et de faux articles destinés à polariser l'opinion publique sur les élections. Selon Facebook, 126 millions de ses utilisateurs (sur une population de 323 millions d'Américains) auraient été exposés à des contenus créés par l'IRA en 2016. Depuis, d'autres travaux ont mis en évidence le poids inquiétant de la désinformation – provenant aussi bien d'officines étrangères que de groupes intérieurs – sur d'autres événements majeurs, comme le Brexit.



GETTY IMAGES - ILLUS. NAZARIO GRAZIANO/COLAGENE

## LES TROLLS, OBSOLÈTES ?

Mais, jusqu'ici, cette désinformation était essentiellement confectionnée par des humains, donc "à la main". Une enquête de l'École de journalisme de Columbia a ainsi démasqué en 2019 un réseau de 450 sites web reprenant les codes de journaux locaux et arborant des noms respectables comme l'*Arizona Monitor*, mais qui étaient en réalité pilotés par des officines de communication prorépublicaines pour relayer des milliers d'articles favorisant les thèses conservatrices.

Aujourd'hui, si l'inquiétude est plus prégnante, c'est que l'IA progresse et ouvre de nouvelles perspectives en matière de désinformation : *"Plus besoin de payer des trolls pour écrire des articles de propagande en ligne"*, craint Camille François. De

**Génération de texte automatique, "bots" évolutifs… Les progrès de l'intelligence artificielle ouvrent de nouvelles possibilités** aux hackers malveillants pour produire des *fake news* toujours plus convaincantes et en inonder les réseaux sociaux. De quoi amplifier la guerre de la désinformation en pleine campagne électorale ?

PAR **HUGO LEROUX**




70 % C'est la probabilité qu'une fausse nouvelle soit davantage retweetée qu'une vraie, selon une étude du MIT. Cette efficacité s'expliquerait en partie parce que les *fake news* font appel à divers biais cognitifs.

6 % C'est la part de comptes Twitter identifiés comme bots lors des dernières élections américaines de 2016. Ils ont disséminé 31 % des tweets renvoyant à des contenus classés *"peu crédibles"* sur Twitter.

1ers D'après le Reuters Institute Digital News Report 2017, sur le marché de l'information en ligne dans 36 pays, les réseaux sociaux sont devenus la 1re source d'information des 18-24 ans, tous pays confondus.

fait, un nouvel outil, baptisé GPT-3 et publié en juin dernier via une application en ligne par la société Open AI, l'un des leaders mondiaux du secteur, a fait immédiatement beaucoup de bruit. Et pour cause. Ce programme a pour but de générer automatiquement des textes qui deviennent difficilement discernables d'un écrit "humain". Sa version 2, sortie en février 2019, était déjà assez performante pour que ses auteurs choisissent de n'en pas publier le code source, par crainte de favoriser la prolifération de *fake news* et de contenus de désinformation sur internet.

Cette version 3 va bien plus loin et illustre la croissance vertigineuse des modèles d'apprentissage profond (le fameux *deep learning*, en anglais), dont les progrès sont basés sur l'ingestion toujours plus massive de données (ici, tout type de textes) pour pouvoir créer ensuite du contenu de toute pièce. Le modèle a ainsi ingurgité quelque 500 milliards de données (extraits de livres, pages web, etc.), ainsi que tout Wikipedia, qui n'en compte que 3 milliards ! De même, alors que la version 2 comprenait 1,5 milliard de paramètres pour mouliner ces données, sa version 3 en affiche 175 milliards, soit une multiplication par plus de 100 en 14 mois ! *"En somme, sa phase d'apprentissage a requis plus de 1 000 milliards de milliards d'opérations de calcul élémentaire, ce qui prendrait au plus grand supercalculateur actuel environ 30 heures de calcul. Sur un PC de gamer équipé d'une carte graphique, il vous faudrait près de 700 ans pour y parvenir !"* s'exclame Marc Duranton, spécialiste de l'IA au CEA.

Et le résultat est là : les "écrits" de GPT-3 marquent une vraie évolution dans le domaine. *"La qualité de langage atteinte est impressionnante"*, reconnaît Matthias Gallé, spécialiste de la génération de langage naturel aux Naver Labs (le Google coréen), basés à Grenoble. Deux exemples éloquents l'ont d'ailleurs attesté très →

## Trois campagnes électorales où se sont invités les réseaux sociaux



**Décembre 2012**
Présidentielle en Corée du Sud

La Corée du Sud a connu un énorme scandale en 2013 suite à la découverte de l'implication des services secrets (NIS) dans la publication de 1,2 million de tweets partageant quelque 26 000 messages lors de l'élection présidentielle de 2012. Ces messages visaient à décrédibiliser le candidat de centre gauche Moon Jae-in au profit de la candidate de droite Park Geun-hye (qui a finalement été élue avec 51,6 % des suffrages).



**Juin 2016**
Brexit, Royaume-Uni

Selon des chercheurs de l'université d'Oxford, les "bots" ont eu un rôle stratégique dans les conversations au sujet du référendum sur les réseaux sociaux. Ils ont constaté que les hashtags liés au camp du "Leave" dominaient et que moins de 1 % des comptes étudiés avaient généré presque 1/3 des messages liés au sujet, la semaine avant le scrutin.

récemment. Cet été, Liam Porr, un étudiant en informatique de l'université de Berkeley, en Californie, est parvenu à hisser son blog en tête de l'agrégateur d'informations Hacker News, alors que son contenu avait été rédigé par GPT-3. En l'occurrence, Liam Porr n'avait eu à fournir, pour chaque billet de blog, que le titre et la phrase d'introduction, puis il a laissé la machine broder sur le thème attendu. Ce qui a suffi à duper la majorité des 26 000 visiteurs, que l'on pourrait pourtant croire aguerris aux sujets de la tech et qui ont visité le blog en deux semaines. Début septembre, *bis repetita*: c'est le prestigieux journal britannique *The Guardian* qui, à son tour, a publié un article factice généré par GPT-3.

### D'INQUIÉTANTES PERFORMANCES

Pour les chercheurs du secteur, ce programme suscite tout à la fois enthousiasme et crainte, même s'il existe des limites: *"Cela reste un apprentissage statistique sur une masse de texte; l'IA est toujours loin de comprendre le sens véritable de ce qu'elle écrit. Sur des articles de plus de 500 mots, on note des répétitions, voire des contresens entre les phrases, qui finissent souvent par mettre la puce à l'oreille"*, relativise Matthias Gallé. D'ailleurs, l'article du *Guardian* a tout de même été édité par un journaliste humain en compilant plusieurs phrases venant de GPT-3.

Il n'empêche: le résultat, même imparfait, pourrait suffire à faire illusion aux yeux d'un lecteur peu attentif ou en jouant sur le "biais de confirmation" bien connu des psychologues, qui consiste à conforter l'opinion d'un internaute déjà en accord avec le message délivré. *"La confusion est d'autant plus facile à entretenir qu'elle arrive dans un contexte de défiance généralisée envers la presse et les institutions"*, rappelle Vincent Claveau, chercheur à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires au CNRS.

Non contente de faciliter la rédaction de contenus aux trolls humains, l'IA pourrait aussi permettre de relayer bien plus efficacement des faux articles et des opinions sur les réseaux, dans le but de les propulser artificiellement au rang de "tendances" et de les imposer à l'agenda politique. C'est tout le rôle des "bots", ces programmes automatisés visant à interagir avec des internautes en se faisant passer pour des



**2017**
Présidentielle française

Selon l'université de Californie du Sud, 18 000 bots ont favorisé la diffusion des MacronLeaks (fuite de plus de 20 000 courriers électroniques liés à la campagne d'Emmanuel Macron) sur Twitter. Avec une influence limitée puisque, selon les chercheurs, ces tweets ont surtout touché des utilisateurs anglophones et pro-Trump !

humains. Pendant les élections de 2016, jusqu'à 20 % des tweets sur ce sujet auraient ainsi été postés par 400 000 comptes automatisés, selon une étude de l'université de Californie du Sud. L'IA ne jouait alors qu'un petit rôle dans l'affaire : *"Les bots étaient encore essentiellement des programmes automatiques simples, consistant par exemple à 'liker' ou repartager un contenu en masse, ou, dans des versions plus élaborées, à poster des messages ou des liens prédéfinis à l'avance"*, pointe Vincent Claveau.

Ces caractéristiques ont d'ailleurs rendu les bots les plus grossiers relativement faciles à détecter automatiquement. *"On peut en effet identifier, sur la masse de publications d'un réseau social donné, des motifs répétitifs – contenus, fréquence des posts – qui dénotent la nature artificielle et coordonnée de certains comptes"*, explique le chercheur.

## LE PHISHING BOOSTÉ

Mais, en 2017, deux chercheurs de la société de cybersécurité ZeroFox ont donné une première démonstration des possibilités d'un bot dopé au *deep learning*. Son apprentissage consistait à observer les habitudes de certaines catégories →



ROMAIN **BADOUARD**
Maître de conférences en sciences de l'information et de la communication à l'université Paris II Panthéon-Assas

# "La désinformation peut avoir d'autres buts que de convaincre"

**S&V: Peut-on mesurer l'effet de la désinformation sur des élections ?**
R.B. : Les sociologues montrent que les gens qui partagent des fausses informations sont déjà convaincus : les internautes marqués à l'extrême droite sont ceux qui partagent des *fake news* d'extrême-droite, etc. Mais la désinformation peut avoir d'autres buts que de convaincre ; elle a aussi des effets indirects.

**S&V: Lesquels ?**
R.B. : Lors de la précédente présidentielle américaine, les fausses informations avaient plutôt pour objectif de démobiliser l'électorat démocrate que d'influencer les indécis. La diffusion de *fake news* à grande échelle met aussi à l'agenda un certain nombre de thématiques, notamment marquées à l'extrême droite. À la longue, la désinformation dégrade surtout le niveau de confiance général dans la fiabilité de l'information.

**S&V : Comment les réseaux sociaux s'emparent-ils de cette problématique ?**
R.B. : Ils la prennent très au sérieux, notamment parce qu'elle nuit à leur image. Facebook, par exemple, a mis en place des partenariats avec des journalistes *fact-checkers*. La difficulté, avec les *fake news*, c'est qu'elles n'enfreignent pas forcément les standards de publication. La solution trouvée par les plateformes est de "dégrader la visibilité" de ces contenus. Les plateformes ont aussi recours à la détection automatique, encore peu efficace toutefois.

AHN YOUNG JOON/AP/SIPA - ODD ANDERSEN/AFP - DENIS MEYER/HANS LUCAS/AFP - UNIVERSITÉ PARIS 2 PANTHEON ASSAS

d'utilisateurs du réseau social Twitter puis de leur envoyer des messages personnalisés dans le but de leur faire cliquer sur un lien malicieux (une pratique appelée *"phishing"*). Au terme de cet apprentissage, les chercheurs ont conduit une "compétition" de 2 heures avec des concurrents humains. Sans surprise, le bot a réussi à appâter un nombre d'utilisateurs bien plus important.

Grâce à l'IA, les hackers pourraient également créer des bots "caméléons" capables d'échapper aux programmes de détection automatique. La société Graphika a ainsi débusqué récemment une opération de propagande prochinoise sur Facebook basée sur des faux profils recourant à des photos de personnes imaginaires mais réalistes, générées par le *deep learning*. Autre indice troublant : dans une étude publiée en août, le chercheur Emilio Ferrara, de l'université de Californie du Sud, a observé 245 000 comptes engagés dans des débats Twitter lors des deux dernières élections américaines (présidentielle 2016 et mi-mandat 2018).

Il a pu mesurer que les comportements en ligne des quelque 31 000 bots identifiés avaient évolué entre ces deux périodes, pour se rapprocher davantage des comportements humains (repartageant, par exemple, moins de contenus, ou répondant davantage à d'autres tweets).

Faut-il en conclure que des armées de bots dopés à l'IA sont prêtes à répandre la confusion sur les réseaux sociaux lors des élections ? Pour en avoir le cœur net, l'équipe de Dennis Assenmacher, de l'université de Münster (Allemagne), a récemment sondé le net ainsi que le *"darknet"* afin de recenser l'offre de bots "prêts à l'usage" pour divers réseaux sociaux. Leur conclusion est rassurante : le degré d'intelligence observé dans l'implémentation des bots est limité. L'immense majorité des services et logiciels disponibles relève davantage de l'automatisation (partager et *liker* des contenus, suivre des utilisateurs) que de bots sociaux capables de créer du contenu original sur un sujet défini ou de discuter de sujets avec d'autres utilisateurs.

Explication possible : les moyens nécessaires pour entraîner un programme de *deep learning* sont encore prohibitifs. *"L'implémentation de l'IA requiert encore une expertise ainsi que des moyens informatiques relativement importants. Or on peut déjà semer la confusion avec des bots rudimentaires et de la désinformation 'faite main'. L'investissement n'en vaut donc pas forcément la chandelle pour la majorité des acteurs malveillants"*, pointe Vincent Claveau.

## UNE PRÉVALENCE INCONNUE

Cette raison est également avancée par de nombreux chercheurs pour expliquer pourquoi les *deepfakes*, ces vidéos truquées dopées à l'IA *(dont nous vous parlions dans le n°1217 de février 2019)*, n'ont toujours pas donné lieu à de grandes et dévastatrices campagnes de manipulation politique. Reste que *"l'argument des moyens ne tiendra pas longtemps car le* deep learning *s'est déjà énormément démocratisé depuis 2012"*, pointe Matthias Gallé.

Emilio Ferrara, lui, n'en démord pas : *"Nous n'avons pas de doutes sur l'existence de bots sophistiqués qui imitent le langage humain grâce à l'IA, mobilisés par des organisations bien dotées. Nous ne connaissons simplement pas leur prévalence car ils sont significativement plus difficiles à détecter"*, insiste le chercheur.

Au final, difficile donc de savoir si la présence de générateurs de textes et de bots dopés à l'IA aura déjà joué un rôle dans cette élection américaine. Et si oui, pour qui et dans quelle proportion cette incursion aura pu être profitable. En tout cas, cela deviendra à coup sûr un objet d'étude pour de prochaines recherches dans le domaine.

## Le vote par internet n'est pas encore au point

Pandémie oblige, 76 % des électeurs américains pourront, cette année, choisir de voter par bulletin postal. Le président Donald Trump a dénoncé un risque de "fraude massive"… non avéré selon différentes études. *Quid* du vote par internet ? Depuis deux ans, la Virginie occidentale recourt à une application fondée sur la *blockchain* pour permettre notamment aux militaires à l'étranger de voter par smartphone. Cette technologie est censée sécuriser le vote en ligne grâce à son fonctionnement décentralisé : les données sont stockées simultanément sur plusieurs ordinateurs, de sorte qu'en cas de panne, elles ne sont pas affectées. Est-ce vraiment plus sûr ? Pas encore, d'après l'Association for Computing Machinery (ACM) et l'Association américaine pour l'avancement des sciences (AAAS). En effet, le terminal de l'utilisateur ou celui du bureau de vote peuvent être affectés par un logiciel malveillant en amont du vote. Par ailleurs, la *blockchain* ne garantit toujours pas l'anonymat de l'électeur.

# Télomères et longévité

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

## Genèse d'une découverte



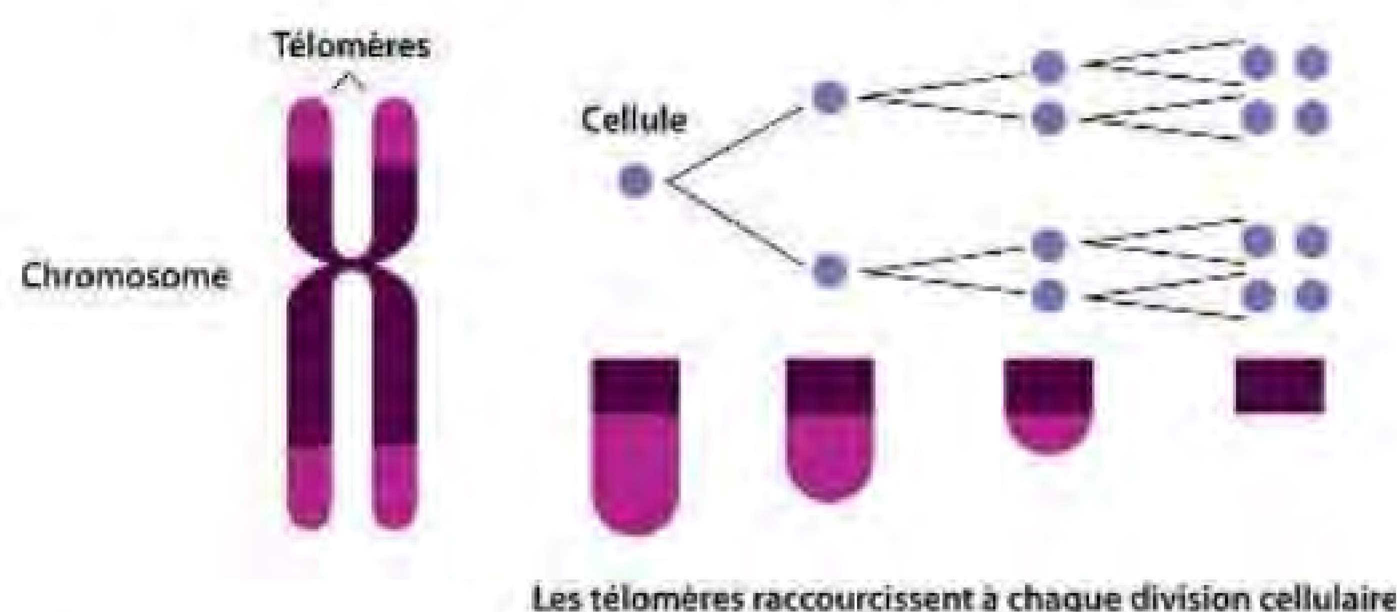
Dans les années 80, les professeurs Elizabeth Blackburn, Carol Greider, et Jack Szostak, collaborent afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire.

## Mitose cellulaire et réplication des chromosomes



Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

## Deux découvertes en une : télomères et télomérase




Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par provoquer la mort de la cellule, appelée sénescence. Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales. Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

## Astragale et télomères



Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'*Astragalus membranaceus*, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. **Telomerys** associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

**Disponible en pharmacie et espace diététique**

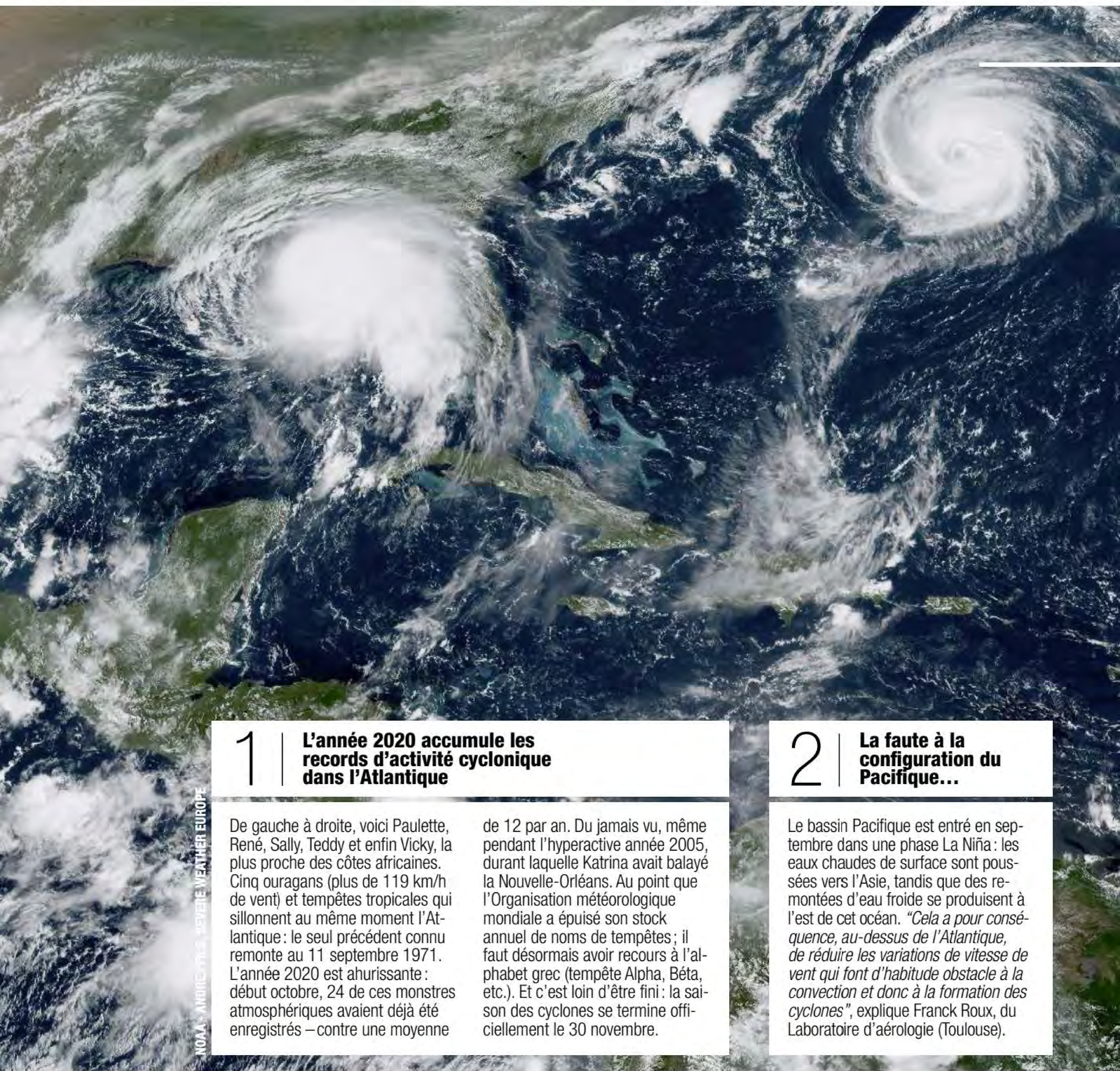
Les experts du laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au **01 84 21 36 86** (tarif local) ou sur www.telomerys.com

**Telomerys**
60 gélules végétales est disponible sous le code ACL 602 42 56.




"Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour" www.mangerbouger.fr

# Le jour où l'Atlantique a été envahi par les cyclones



NOAA - ANDRE [illegible] SEVERE WEATHER EUROPE

## 1 | L'année 2020 accumule les records d'activité cyclonique dans l'Atlantique

De gauche à droite, voici Paulette, René, Sally, Teddy et enfin Vicky, la plus proche des côtes africaines. Cinq ouragans (plus de 119 km/h de vent) et tempêtes tropicales qui sillonnent au même moment l'Atlantique : le seul précédent connu remonte au 11 septembre 1971. L'année 2020 est ahurissante : début octobre, 24 de ces monstres atmosphériques avaient déjà été enregistrés – contre une moyenne de 12 par an. Du jamais vu, même pendant l'hyperactive année 2005, durant laquelle Katrina avait balayé la Nouvelle-Orléans. Au point que l'Organisation météorologique mondiale a épuisé son stock annuel de noms de tempêtes ; il faut désormais avoir recours à l'alphabet grec (tempête Alpha, Béta, etc.). Et c'est loin d'être fini : la saison des cyclones se termine officiellement le 30 novembre.

## 2 | La faute à la configuration du Pacifique…

Le bassin Pacifique est entré en septembre dans une phase La Niña : les eaux chaudes de surface sont poussées vers l'Asie, tandis que des remontées d'eau froide se produisent à l'est de cet océan. *"Cela a pour conséquence, au-dessus de l'Atlantique, de réduire les variations de vitesse de vent qui font d'habitude obstacle à la convection et donc à la formation des cyclones"*, explique Franck Roux, du Laboratoire d'aérologie (Toulouse).

**Lundi 14 septembre 2020, les images satellite révèlent la présence de pas moins de cinq cyclones et tempêtes tropicales au-dessus de l'Atlantique!** Difficile de dire si ce phénomène exceptionnel est directement lié au réchauffement… Mais ce cliché témoigne d'un automne particulièrement chaotique.

PAR **VINCENT NOUYRIGAT**

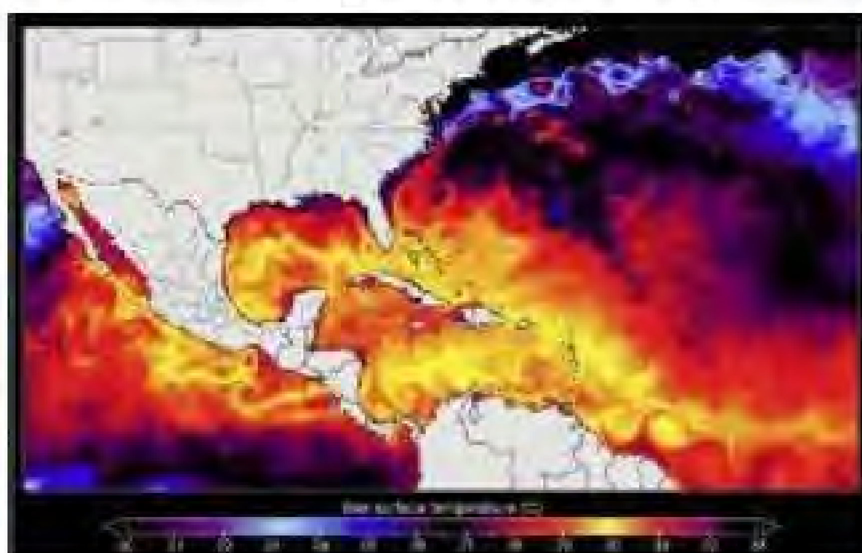
## 5 | Ces cyclones s'aventurent de plus en plus fréquemment vers les hautes latitudes

Deux jours après ce cliché, le 16 septembre, la tempête tropicale Paulette s'aventurait aux environs de Terre-Neuve (Canada). *"En migrant vers le nord, les ouragans perdent une partie de leur source d'énergie initiale qui est la chaleur contenue dans l'océan; ces systèmes sont désormais aussi alimentés par l'énergie cinétique de l'atmosphère, comme nos tempêtes classiques"*, signale Franck Roux.

Sous l'effet du réchauffement de l'air et des océans, ces phénomènes hybrides sont amenés à se multiplier. À l'image du cyclone subtropical Alpha qui s'est abattu sur le Portugal vendredi 18 septembre –une première pour ce pays–, tandis que le cyclone méditerranéen Ianos frappait une partie de la Grèce. Sans parler, dans un autre genre, de la "tempête explosive" Alex qui a ravagé les Alpes-Maritimes le 2 octobre.

## 3 | … au fort échauffement de l'Atlantique tropical…

Avec des températures de 28 à 30°C, l'océan fournit une énorme réserve d'énergie aux cyclones.



## 4 | … Et à une mousson africaine particulièrement intense

Cette saison de mousson, qui s'étend de juin à septembre, a engendré de très puissants orages au-dessus du continent africain. *"Ces systèmes orageux, qui sont au passage très bénéfiques pour le Sahel, se déplacent toujours vers l'ouest et deviennent des ondes tropicales lorsqu'ils arrivent au-dessus de l'océan,* analyse Franck Roux. *Cela est susceptible de donner ensuite naissance à un ouragan."*

# Pesticides : le grand retour des “tueurs d’abeilles”

## Une exception accordée aux betteraviers

Les néonicotinoïdes “tueurs d’abeilles” ne devaient plus être qu’un mauvais souvenir : la loi avait entériné l’interdiction de ces produits neurotoxiques dans notre pays en 2018, avec quelques exceptions possibles jusqu’au 1er juillet 2020. Las, l’Assemblée nationale vient d’accorder jusqu’en 2023 une dérogation à la culture de la betterave à sucre, victime cet été d’une grave épidémie de jaunisse transmise par les pucerons *Myzus persicae*. D’après la filière, seules ces substances – faciles d’emploi et efficaces – pourraient mettre fin à cette infestation, qui menace de faire baisser les rendements de près de 50 %. Et la perspective d’une nouvelle autorisation fait des envieux : confrontés à la mouche des semis, les producteurs de maïs ont aussi réclamé le recours à ces produits…



## Il y a danger, même pour des cultures sans fleurs

Un argument est avancé pour justifier ce retour : les betteraves à sucre ne fleurissant pas, le traitement serait sans risque pour les pollinisateurs. *“Oui, mais il faut aussi considérer les effets délétères sur la faune des sols,* rétablit Xavier Reboud, directeur de recherche à l’Institut national de la recherche agronomique. *Ces substances sont toxiques à très faibles doses, et on peut aussi s’inquiéter pour les abeilles qui viennent s’abreuver de rosée sur les feuilles de ces cultures.”* Autre problème : la forte persistance de ces molécules dans l’environnement. *“Il faudrait en tenir compte pour les années suivantes en évitant, sur ces parcelles, les cultures à fleurs comme le pois ou le haricot”,* avertit le chercheur.

## En bref



### 66 %

C’est la proportion d’alpinistes qui atteignent le sommet de l’Everest depuis le camp de base (université de Washington). Soit deux fois plus que dans les années 1990, grâce à de meilleures prévisions météo, l’équipement des voies et les bouteilles d’oxygène. En revanche, le taux de décès reste autour de 1 %.

### 10 septembre

C’est le jour où une cyberattaque avec demande de rançon *(ransomware)* a causé, indirectement, un décès dans une clinique de Düsseldorf (Allemagne). En urgence vitale, la patiente n’a pas pu être prise en charge en raison de la saturation des serveurs. Une première – officiellement, du moins.

## Pourtant, des alternatives existent

Deux insecticides alternatifs, le Movento et le Teppeki, ont été homologués récemment. Autre voie: l'amélioration génétique des plantes. *"De nouvelles variétés résistantes à la jaunisse sont en voie d'inscription dans les catalogues de semences,* confie Xavier Reboud. *Et des mesures d'agroécologie pourraient en deux ou trois ans renforcer leur effet."* Comme favoriser les prédateurs naturels des pucerons; alterner les cultures avec des rangées de plantes répulsives; attirer les pucerons vers des végétaux dont ils raffolent. La filière s'engage – enfin – à ouvrir des fermes pilotes en 2021. Même si quelques ravageurs défient toujours les agriculteurs (ver de la noisette, puceron du navet), *"il est temps de mobiliser résolument les alternatives"*, conclut l'agronome.

**Vincent Nouyrigat**

#FAKENEWS



TONWEN JONES/COLAGENE - SHUTTERSTOCK

# Non, Neuralink n'améliore pas les capacités cérébrales

Télépathie, contrôle des objets par la pensée, guérison de la paralysie et de la cécité! Fin août, le milliardaire Elon Musk a multiplié les promesses mirifiques lors de la présentation de son implant cérébral Neuralink. Grâce à ce petit dispositif apposé directement sur le cortex, relié sans fil à l'ordinateur, toutes vos pensées devraient pouvoir être enregistrées, transmises, et toute capacité cérébrale perdue restaurée. Démonstration à l'appui avec une truie dont l'implant câblé sur quelques neurones du groin fait "bip" quand elle fouille. Sauf qu'entre l'écoute de l'activité cérébrale et les prouesses futures, il y a loin: *"La miniaturisation et la pose de cet implant sont de belles avancées, mais en termes de neurosciences, Neuralink n'apporte rien,* assène Andrew Jackson, expert en interfaces neuronales à l'université de Newcastle. *L'ordinateur ne peut traduire l'activité cérébrale comme une langue. Chaque pensée est unique, elle se base sur la mémoire et diffère entre les individus. Pire, penser à la même chose deux fois ne garantit pas un même signal cognitif."* Quant à la restauration des capacités cognitives, *"là aussi, les promesses sont exagérées. On arrive aujourd'hui à rétablir quelques mouvements simples, ou à générer des flashs lumineux chez des personnes aveugles. Mais les implants restent moins efficaces que d'autres solutions, comme le contrôle de la souris d'ordinateur avec les yeux."* Bref, on se calme. **T.C.-F.**



**91**

C'est le nombre d'espèces marines qui continuent d'être pêchées à l'échelle industrielle dans le monde, alors qu'elles sont en danger d'extinction (université du Queensland). Haddock, chinchard, thon rouge, anguille d'Europe, concombre de mer Japonicus... Une solution? Manger des méduses.



**4 800 000**

C'est, en France, le nombre de logements trop énergivores (étiquette F ou G) qualifiés de "passoires thermiques", selon le ministère de l'Environnement. Surtout des maisons individuelles et petits appartements (moins de 30 m$^2$) situés en territoires ruraux. Ils ne pourront plus être loués en l'état à partir de 2023.

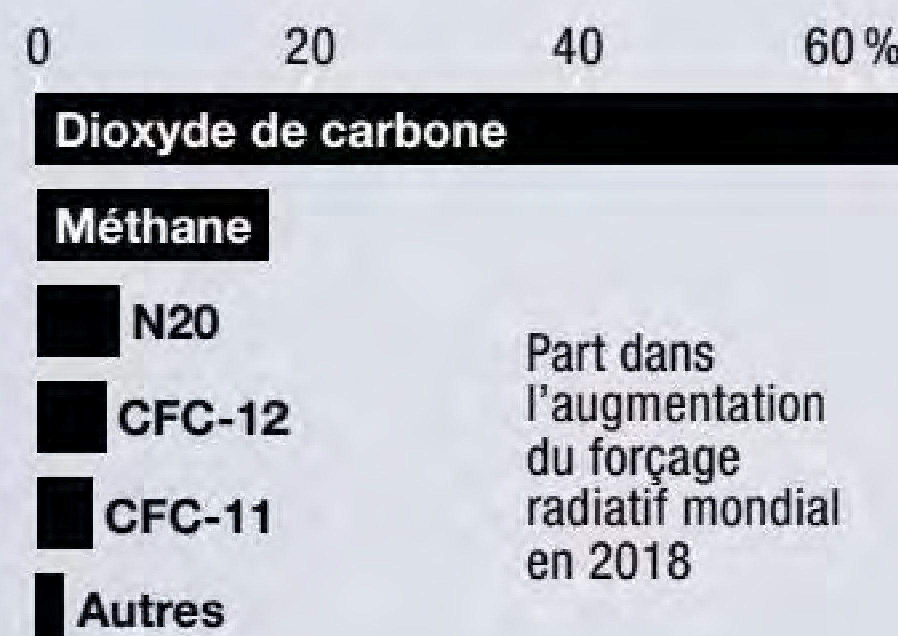
# Les clés pour comprendre la flambée du méthane

**Les émissions de ce gaz à effet de serre augmentent encore plus vite que celles du dioxyde de carbone!** Il faut dire que ses sources se multiplient : riziculture, élevage bovin, décharges à ciel ouvert, fuites provenant de mines de charbon, puits et autres gazoducs. Une flambée que l'on ne peut plus négliger.

PAR **CORALIE HANCOK**

## 1 Un gaz majeur du réchauffement climatique…

Le méthane est le deuxième gaz contribuant le plus à l'effet de serre. Certes, il est nettement moins présent et persistant dans l'atmosphère que le $CO_2$, mais son pouvoir réchauffant est 28 fois supérieur.




## 4 L'origine de cette flambée varie d'un continent à l'autre…

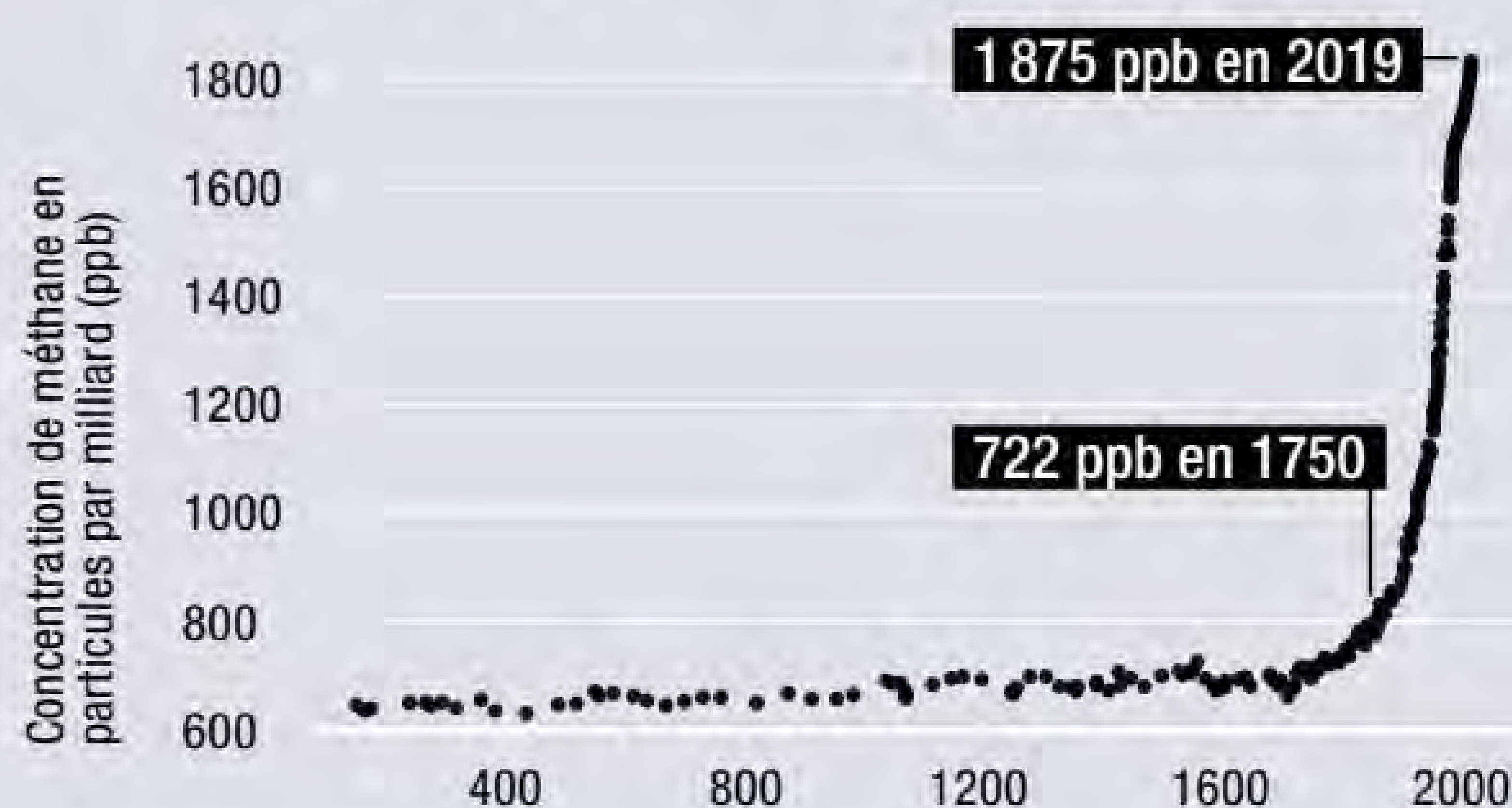
L'agriculture, notamment la riziculture, représente la moitié des émissions en Asie – contre environ un tiers du total dans le monde. En Russie, le tableau est différent : ce sont les énergies fossiles qui constituent la source la plus importante, via la ventilation des mines de charbon ou les fuites lors de l'extraction et la distribution des hydrocarbures.

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES/ISTOCK PHOTO - M.KONTENTE - L.DESRAYAUD

Alors qu'ils étaient jusqu'ici obnubilés par le $CO_2$, les scientifiques découvrent l'ampleur du problème posé par le méthane : selon le Global Carbon Project, les émissions annuelles ont augmenté de 9 % entre la période 2000-2006 et l'année 2017. Environ 40 % d'entre elles sont d'origines naturelles : les zones humides, notamment, en produisent 200 millions de tonnes par an via l'activité de micro-organismes dégradant la matière organique. Mais ce sont les activités humaines qui expliquent cette hausse. *"Expansion et intensification de l'agriculture en sont les moteurs principaux : surtout l'élevage bovin, à travers la fermentation entérique, et la riziculture,* explique Marielle Saunois, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement. *L'augmentation que nous constatons suit le scénario le plus pessimiste du Giec, avec une hausse des températures de 3 à 4°C."* Sans compter l'éventuelle fonte du permafrost… Mais tout n'est pas perdu : le méthane ayant une durée de vie dans l'atmosphère bien plus courte que le $CO_2$, toute réduction aura un impact rapide sur le climat.

## 2 … dont la concentration atmosphérique a explosé à l'ère industrielle…

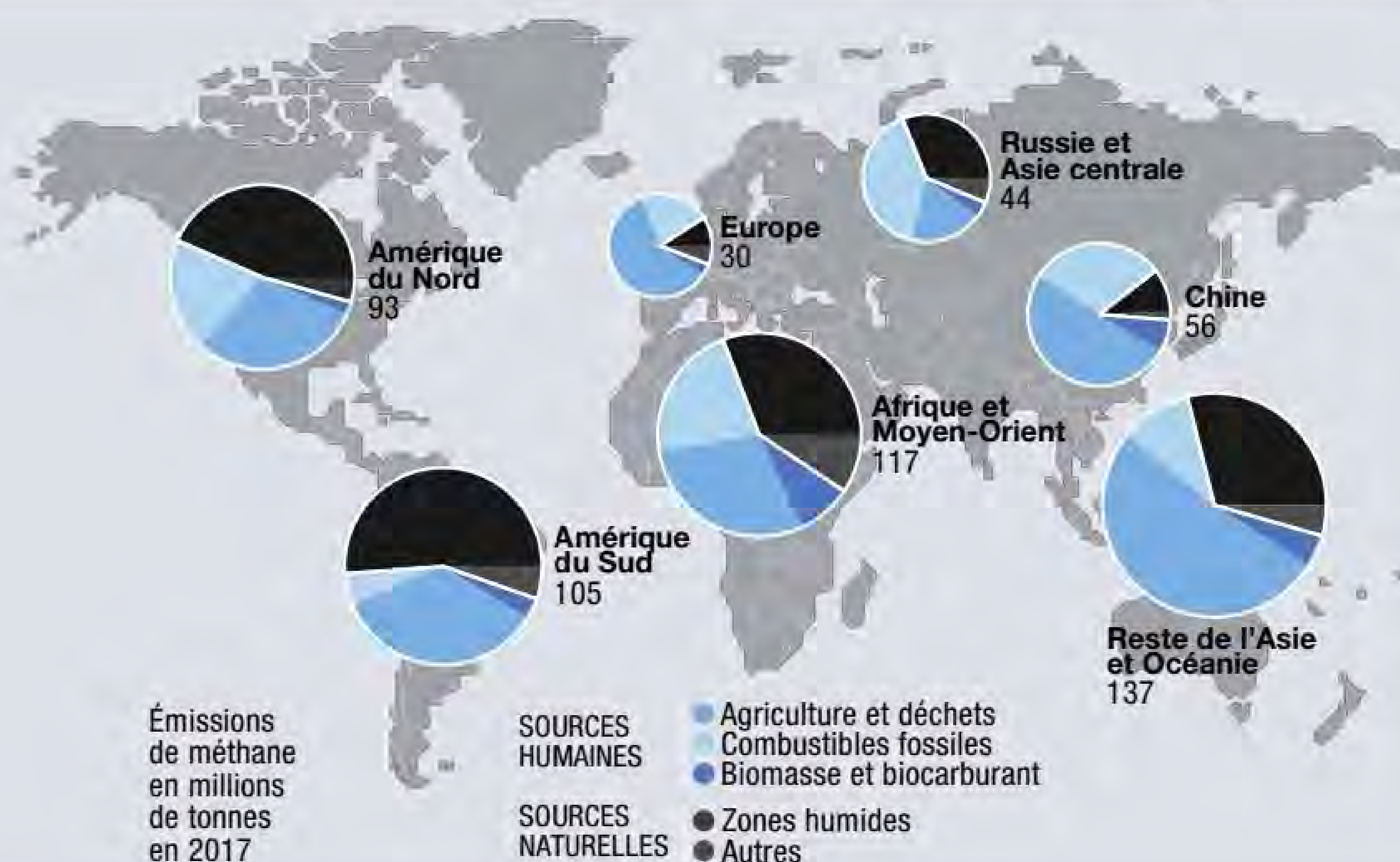
Depuis 1750, la teneur du méthane dans l'atmosphère a été multipliée par un facteur 2,6 (de 722 molécules par milliards de molécules d'air à 1 875 en 2019). Dans le même temps, la concentration en $CO_2$ a été multipliée par "seulement" 1,5.




## 3 … sous l'effet des émissions dues aux activités humaines

Aujourd'hui, 60 % des émissions de méthane sont liées à des activités humaines (agriculture, déchets, énergies fossiles…). Les 40 % restants sont liés à des sources naturelles dont les émissions restent stables.




## 5 … mais des leviers permettent de l'atténuer

L'Europe est le premier continent à avoir réussi à inverser la tendance, notamment grâce à la diminution de son cheptel bovin et à l'interdiction des décharges à ciel ouvert.



–1,6 million de tonnes
DE MÉTHANE
(entre la période 2000-2006 et 2017)

Sources : Global Carbon Project ; Organisation météorologique mondiale ; R B Jackson et al, 2020, Environ. Res. Lett.

# Le premier spray nasal qui prévient les suicides

**Les États-Unis ont validé en août sa prescription pour les patients suicidaires.** Le Spravato, du laboratoire Janssen, déjà utilisé en France pour soigner les formes graves de dépression à l'hôpital, pourrait être commercialisé sous peu.

PAR **LISE GOUGIS**




**15 %**

C'est le pourcentage de personnes souffrant de dépression qui meurent par suicide. Un risque multiplié par 30 au cours de l'épisode dépressif.

## UN ANTIDÉPRESSEUR AUX EFFETS RAPIDES…

Contrairement aux antidépresseurs classiques, le Spravato agit en quelques heures et durablement sur l'humeur à raison d'une à deux prises par semaine. *"Il peut permettre de passer les crises suicidaires, sans avoir à sédater le patient"*, explique Philippe Fossati, psychiatre à la Pitié Salpêtrière. Mais les essais cliniques n'ont pas révélé d'effets directs sur les idées noires.

## … QUI DOIT ÊTRE PRIS SOUS SURVEILLANCE

Ce dérivé chimique de la kétamine, un anesthésique utilisé aussi comme drogue récréative, doit être pris dans le cadre d'un suivi à l'hôpital, en raison de ses possibles effets secondaires (cardio-vasculaires…). Ce qui bouleverse l'organisation des soins psychiatriques : les hôpitaux doivent alors développer des activités ambulatoires.

## … ET SEULEMENT EN COMPLÉMENT D'UN TRAITEMENT

Le Spravato n'a pas vocation à remplacer les traitements médicamenteux et la psychothérapie. *"Cela reste un complément de traitement associé aux antidépresseurs, réservé aux patients qui ont développé une forme grave de la maladie"*, insiste Philippe Fossati. Ses effets restent variables à l'échelle individuelle et incertains sur le long terme, avec un risque potentiel de dépendance.

## DE NOUVELLES PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ce traitement introduit une nouvelle classe d'antidépresseurs qui cible le glutamate, l'un de nos neurotransmetteurs. *"Nous devons mieux comprendre par quel mécanisme il agit si vite"*, précise Philippe Fossati. D'autres études devront éclaircir son impact sur les idées suicidaires pour pouvoir l'utiliser à cet effet en France, où il reste réservé aux patients dépressifs résistants, surtout dans le cadre d'essais cliniques. Son lancement commercial est envisagé à la fin de cette année 2020.

DR

LA SCIENCE & VIE

DONNE UNE SECONDE VIE AU PAPIER.

EN TRIANT VOS JOURNAUX, MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES, PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.

CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio

# Futur

Science & société

NOVEMBRE 2020

CARAÏBES

ÉMIRATS ARABES UNIS

RUSSIE

ÉTATS-UNIS

AUTRICHE

SINGAPOUR



FABIEN COUSTEAU OCEAN LEARNING CENTER. CONCEPT DESIGN BY YVES BEHAR AND FUSEPROJECT

CARAÏBES



# Une station sous-marine internationale est lancée

Et si la Station spatiale internationale avait sa version sous-marine ? À l'origine du projet Proteus, imaginé par l'aquanaute Fabien Cousteau, petit-fils du célèbre commandant, un constat : nous n'avons exploré que 5 % des océans alors qu'ils renferment des solutions pour protéger la planète et assurer notre survie. Contrairement aux petites bases sous-marines précédentes, conçues pour de courtes missions, il s'agirait cette fois de bâtir une structure durable. Cette plateforme modulable réunira sur 370 m² laboratoire et habitat, et accueillera jusqu'à 12 scientifiques durant plusieurs mois. Alimentée grâce aux énergies éolienne, solaire (récupérées en surface) et thermique, la station abritera même une serre pour produire fruits et légumes. Elle devrait voir le jour d'ici 3 ans (elle attend 135 millions de dollars de financement), à 18 m de fond au large de l'île de Curaçao. **L.G.**



ÉMIRATS ARABES UNIS



## Vivre en plein désert, grâce à des maisons inspirées des cactus

Des logements dans le désert? Oui, s'ils résistent à la chaleur et respectent l'environnement! C'est en s'inspirant de cactus à l'épaisse peau plissée que les architectes londoniens d'Aidia Studio ont imaginé Oculus: un habitat qui résiste aux tempêtes de sable grâce à une couche ajourée en textile photovoltaïque, qui s'ouvre et se ferme au fil du jour, pour se protéger mais profiter de la vue! L.B.

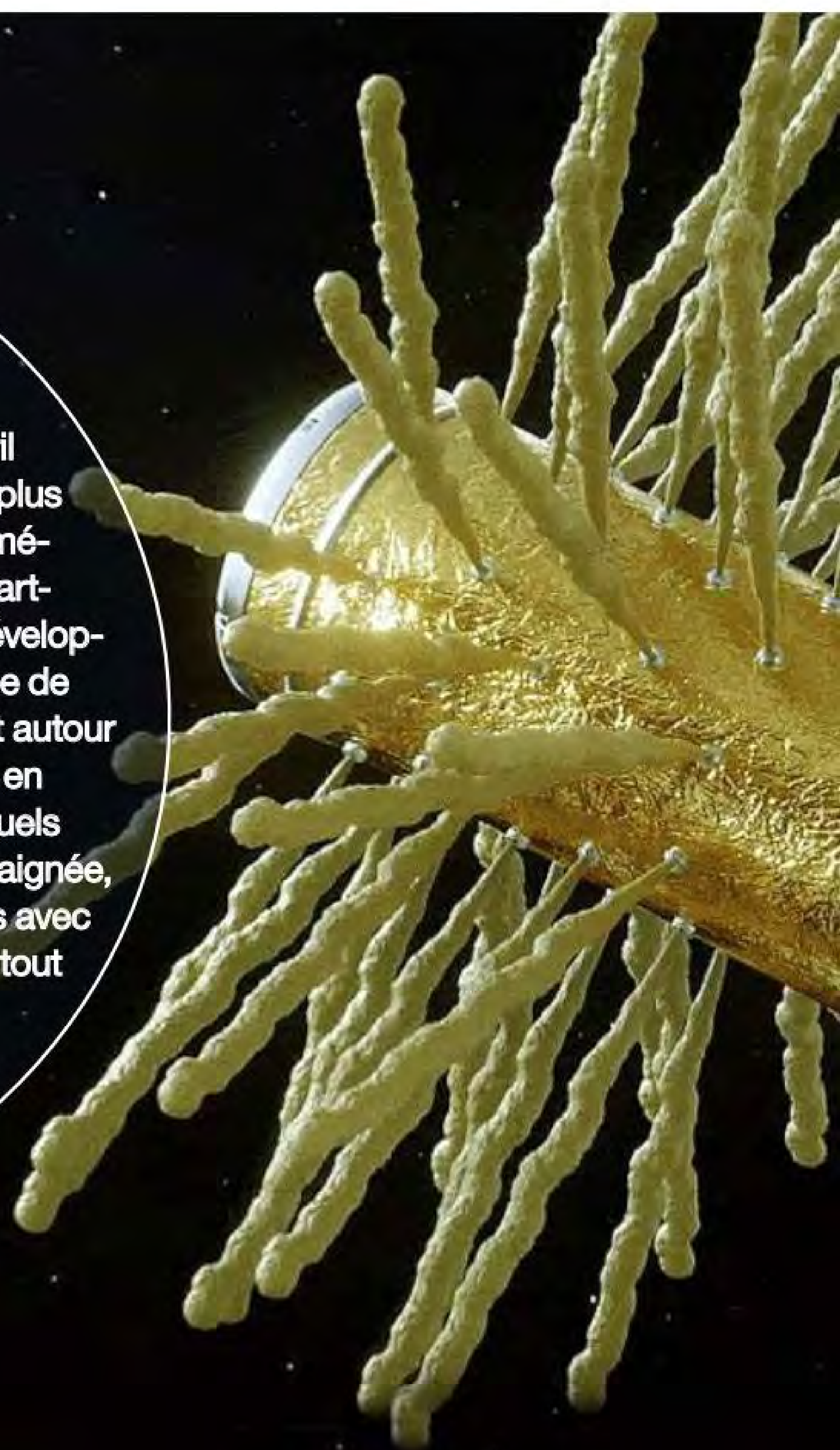


RUSSIE



## Un satellite-piégeur de débris spatiaux va être testé

Quelque 129 millions de débris de plus de 1 mm orbiteraient autour de la Terre, mettant régulièrement en péril des satellites de plus en plus nombreux. Pour faire le ménage, la société russe StartRocket est en train de développer un satellite cylindrique de 50 kg qui extruderait tout autour de lui, en rayons, des fils en mousse polymère collante, dans lesquels les débris, comme dans une toile d'araignée, se retrouveraient pris. Les frottements avec l'atmosphère feraient alors plonger le tout vers la Terre, avant de le consumer. Premier test en orbite prévu en 2023, même si la formule de la mousse n'est pas encore fixée. S.F.



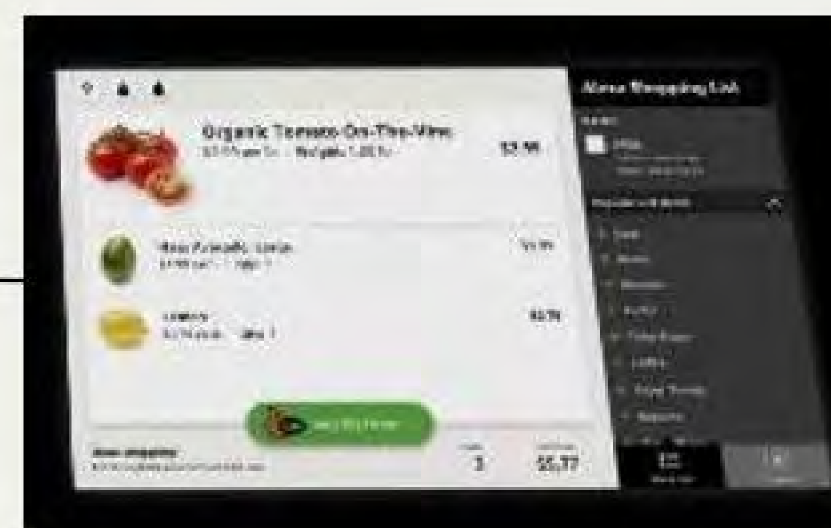
AIDIASTUDIO - STARTROCKET - AMAZON




LOS ANGELES

## Un Caddie connecté pour ne plus attendre à la caisse

Plus besoin de faire la queue grâce à ce Caddie. Des capteurs identifient les articles placés dedans ; puis le client quitte le magasin par une sortie dédiée ; le paiement est automatiquement débité sur sa carte bleue. Ce système est actuellement testé par l'entreprise Amazon dans une de ses épiceries de Los Angeles. Il exige de disposer d'un compte Amazon et d'un smartphone. **S.F.**



VIENNE



# Une couverture photovoltaïque des autoroutes est à l'étude

Recouvrir les autoroutes allemandes, suisses et autrichiennes de panneaux photovoltaïques… voici le projet international que pilote l'Institut autrichien de technologie de Vienne. Le travail principal des chercheurs consiste à créer un premier prototype, compromis entre technologie photovoltaïque, simplicité de mise en œuvre, production d'énergie, protection de la chaussée et maintien des conditions de route (notamment de la luminosité). Mais avant d'envisager un déploiement, les chercheurs devront encore tester leur modèle à l'aide d'un démonstrateur… **E.T.-A.**

LABOR3 ARCHITEKTUR GMBH - ADDP ARCHITECTS






## C'est parti pour les plus hautes tours préfabriquées du monde

Ces tours de 56 étages conçues par ADDP Architects mesureront 192 m. Leur particularité ? Une conception en préfabriqué encore peu répandue pour de telles structures. Soit environ 3000 modules assemblés, complets à 80 %. Les touches finales consisteront, entre autres, à leur ajouter les portes ! Cette technique limite les nuisances du chantier et son coût. Les tours devraient être achevées en 2023. S.F.

**PRIX SCIENCE & VIE INNOVATION 2020**

Pour suivre l'actualité des innovations et découvrir les projets candidats aux prix que *Science & Vie* remettra à la fin de l'année (Environnement, Mobilité, Santé, Numérique, Nouvelles technologies), rendez-vous régulièrement sur la page dédiée sur notre site science-et-vie.com

SCIENCE&VIE
LA BOUTIQUE

NOUVEAU
# LA LIBRAIRIE SCIENCE&VIE

*lance avec les Editions Télémaque* ***"Le monde comme vous ne l'avez jamais vu",*** *une collection de beaux livres dont le premier est consacré au corps humain.*




**EN LIBRAIRIE LE 19 NOVEMBRE**

***34,90 €*** *l'ouvrage.*
*172 pages couleurs.*
*200 photos.*
*Dim. : 30 cm x 25 cm.*
*Éditions Télémaque*

## Vivez le plus dépaysant de tous les périples : le voyage intérieur !

**Plongez dans les rivières de globules, enfoncez-vous dans les grottes spongieuses de la moelle osseuse, traversez les vastes prairies de cellules cillées, survolez les falaises vertigineuses de l'émail dentaire… Grâce aux progrès récents de la microscopie, l'exploration du corps humain devient une aventure déroutante : les photographies sélectionnées dans ce livre dévoilent la vie, organe par organe, à travers des paysages éblouissants. Chacun de ces paysages remplit un rôle organique précis. Canaux de transport, couches de protection, réservoirs d'énergie, réseaux de connexion, armes de défense : c'est à l'échelle cellulaire, invisible aux yeux nus, que se révèlent la précision et la complexité de ces rouages biologiques !**

### En vente également dans la collection "Ce que la science sait"

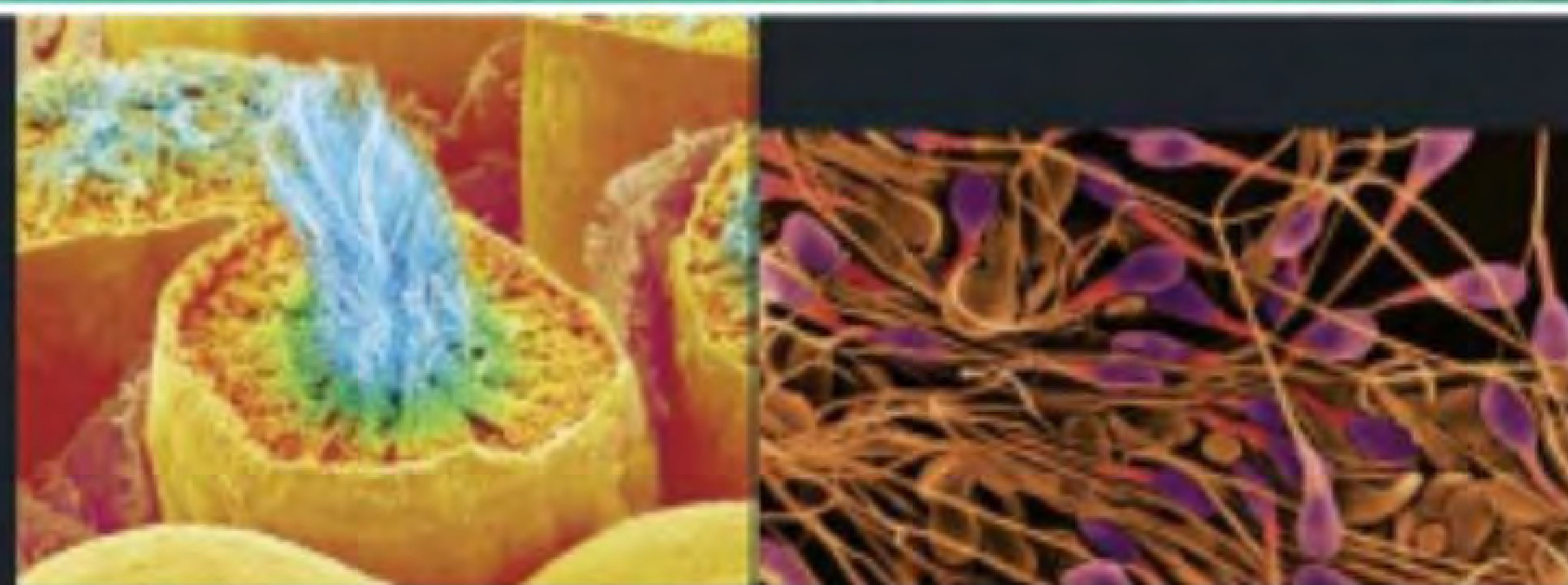
Quelle est la race de chiens la plus intelligente ? Pourquoi leur nez est-il si puissant? Faut-il consommer du curcuma ? Le millepertuis soigne-t-il la dépression ? Loin des idées reçues, ces deux ouvrages traitent en cent questions / réponses l'essentiel des connaissances scientifiques actuelles sur les chiens et sur les plantes qui soignent. Didactiques, faciles à lire, très utiles, ces livres sont élaborés à partir des articles de nos magazines et de contenus inédits.




*16 € l'unité.*
*160 pages*
*Dimensions :*
*20 cm x 20 cm*
*Éd. Télémaque*

SYSTÈME REPRODUCTIF

# UN OUVRAGE EXCEPTIONNEL ET INÉDIT…







TYMPAN & ÉTRIER

# UN VOYAGE EXTRAORDINAIRE …

INTESTIN GRÊLE



# AU CENTRE DU CORPS HUMAIN !

*Disponibles aussi sur* **www.kiosquemag.com** *ou au* **01 46 48 48 03** *(du lundi au vendredi de 8h à 20h - paiement par CB uniquement)*

# BON DE COMMANDE

**À renvoyer à : La Boutique Science & Vie - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9**

| OUI, JE COMMANDE | Réf. | Qté | Prix | Total |
|---|---|---|---|---|
| "Le corps humain comme vous ne l'avez jamais vu" | 420.869 | x | 34,90 € | € |
| "Ce que la science sait des chiens" | 420.836 | x | 16,00 € | € |
| "Ce que la science sait des plantes" | 420.844 | x | 16,00 € | € |
| FRAIS D'ENVOI EN COLIECO | | | | + 3,00 € |
| MONTANT TOTAL DE MA COMMANDE | | | | € |

## Je choisis de régler par :

☐ Par chèque à l'ordre de La Boutique Science & Vie

☐ Par carte bancaire N°

Date de validité

Cryptogramme au dos de votre carte

Date et signature obligatoires

## Mes coordonnées (*A remplir obligatoirement)

Code commande 532 374

Nom* :

Prénom* :

Adresse* :

Code Postal* : Ville* :

Grâce à votre email et votre numéro de téléphone nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande et recevoir nos offres promotionnelles. Votre adresse email ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs à des fins commerciales.

E-mail :

N° de téléphone :

Cet emblème garantit notre adhésion à la fédération du e-commerce et de la vente à distance et à ses codes de déontologie fondés sur le respect du client.



Offre valable en France Métropolitaine jusqu'au 30/01/2021. Conformément à l'article L. 221-18 du code de la consommation, vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception de votre commande et vous pouvez nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Les frais d'envoi et de retour restent à votre charge. Responsable de traitement des données personnelles : Reworld Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reworld Media DPO, c/o service juridique, 40 Avenue Aristide Briand - 92220 Bagneux, ou par mail à dpo@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr. Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur kiosquemag.com.

# COVID-19
# ENQUÊTE SUR LE VACCIN

## QUAND SERA-T-IL PRÊT ? SERA-T-IL EFFICACE ? SANS DANGER ?

Attendu comme un produit miracle, développé en un temps record, déjà préacheté en masse par certains pays, le vaccin contre le coronavirus suscite les vocations, les convoitises et… quelques dérives. Si de nombreux spécialistes le considèrent comme notre seul moyen de retrouver la “vie d’avant”, les questions s’accumulent. Efficacité, effets secondaires, répartition géographique et choix des publics à vacciner, stockage et transport, acceptabilité sociale… Notre enquête évalue les chances de réussite des futurs vaccins.

*PAR LISE BARNÉOUD*



GETTY IMAGES


64
UNE COURSE AUX VACCINS SANS PRÉCÉDENT

68
LE DÉFI DE L'EFFICACITÉ
L'immunité est-elle vraiment garantie ?

72
LE DÉFI DE LA SÉCURITÉ
Faut-il avoir peur des effets secondaires ?

76
LE DÉFI DE L'ALLOCATION
À qui distribuer le vaccin en priorité ?

80
LE DÉFI DE L'ACCEPTABILITÉ
La population sera-t-elle d'accord ?

***Si nous arrivons à développer un vaccin produit par le monde entier, pour le monde entier, il s'agira alors d'un bien public mondial unique du XXI<sup>e</sup> siècle***

EMMANUEL **MACRON,** GIUSEPPE **CONTE,** ANGELA **MERKEL,** ERNA **SOLBERG,** CHARLES **MICHEL,** JUSTIN **TRUDEAU,** URSULA **VON DER LEYEN** *Lundi 4 mai 2020*

***Les États-Unis obtiendront le vaccin en premier, car ils ont investi pour essayer de protéger leur population***

PAUL **HUDSON**
Directeur de Sanofi

*Jeudi 14 mai 2020*

*Nous pourrions avoir un vaccin d'ici à la fin de l'année, début d'année prochaine*

PASCAL **SORIOT**
Directeur général du laboratoire pharmaceutique AstraZeneca *Jeudi 10 septembre 2020*

Répondre à une pandémie par un vaccin. Quand on y pense, le défi paraît insensé ! Une pandémie, par définition, est une propagation brutale et mondiale d'une maladie… Soit l'exact opposé du rythme de développement très laborieux et scrupuleux d'un vaccin ; lequel nécessite de caractériser le pathogène et son mode de fonctionnement, de comprendre comment le corps organise sa défense, de reproduire au mieux cette défense artificiellement, de tester l'innocuité du nouveau médicament à grande échelle sur le long terme, d'assurer sa distribution de la manière la plus efficace et acceptable possible, et on en passe. Le temps de franchir une à une toutes ces étapes, et le fléau aura eu le loisir de frapper l'humanité à plusieurs reprises. Insensé…

Sauf que, pour bon nombre de spécialistes, seul un vaccin contre le coronavirus peut nous permettre de retrouver une vie normale. Même si les médecins multiplient les avancées dans le traitement des malades du Covid-19, le bilan humain ne cesse de s'alourdir à raison d'environ 5 000 décès par jour cet automne – le cap du million de morts a été franchi le 28 septembre. L'immunité collective ? Elle semble encore lointaine : hormis dans quelques quartiers de Bombay ou de Manaus, le taux d'infection de 50 à 70 % permettant de bloquer le virus est loin d'être atteint. Et puis, d'après les modèles de l'Institut Pasteur publiés début septembre, laisser circuler librement le virus en pariant uniquement sur cet effet de groupe provoquerait dans notre pays entre 100 000 et 450 000 décès.

*Nous n'avons aucune garantie qu'un seul des vaccins actuellement en cours de développement fonctionnera prochainement*

TEDROS **ADHANOM GHEBREYESUS**
Directeur général de l'Organisation mondiale de la santé
*Lundi 21 septembre 2020*

*Nous serons en mesure de distribuer 100 millions de doses avant la fin de l'année 2020*

DONALD **TRUMP**
Président des États-Unis
*Mercredi 16 septembre 2020*

*Ce matin, pour la première fois au monde, un vaccin contre le nouveau coronavirus a été enregistré. (...) Ma fille a participé à l'expérience*

VLADIMIR **POUTINE**
Président de la Fédération de Russie

*Mardi 11 août 2020*

Alors, pour mettre fin à ce cauchemar, le mieux est encore de prévenir en amont la maladie en dopant ingénieusement nos systèmes immunitaires. La vaccination, *"c'est l'espoir de faire mieux que la nature"*, dit Anne-Marie Moulin, historienne de la médecine à l'université Paris-Diderot. Idéalement, la vaccination imite une première infection, sans déclencher aucun symptôme, puis prévient par la suite non seulement la maladie mais aussi la transmission du virus. Soit l'équivalent d'un masque… sans ses inconvénients : on se protège et on protège les autres, tout en retrouvant une vie normale.

Cette ambition mobilise actuellement nuit et jour les laboratoires du monde entier – sans parler des biologistes, comme le célèbre généticien George Church, qui fabriquent et s'injectent leur propre mixture. Dix mois après avoir caractérisé ce nouveau virus Sars-Cov-2, pas moins de 193 vaccins candidats étaient recensés par l'OMS, dont 42 en phase d'évaluation chez l'homme ! Imaginez qu'il ne s'est écoulé que 63 jours entre le décryptage du génome du coronavirus et l'injection dans un bras humain de la première dose de vaccin créé par la firme américaine Moderna Therapeutics. Au moment où nous écrivons ces lignes, dix vaccins sont déjà en phase 3, la dernière étape avant l'autorisation de mise sur le marché. Du jamais vu dans l'histoire ! Une performance presque irréelle, quand on sait que le développement d'un vaccin dure en moyenne dix ans – avec un risque d'échec d'environ 90 %…

## UN "BIEN PUBLIC MONDIAL"

Cette course folle ne se fait pas sans accrocs. On ne compte plus les promesses délirantes, les manipulations politiques, les dérives éthiques ou méthodologiques. L'excès de précipitation guette un peu partout. Dès le mois de mai, le président chinois Xi Jinping avait annoncé que son pays testait déjà cinq vaccins différents chez l'homme et qu'en cas de succès, ces vaccins chinois deviendraient un "bien public mondial". Au mois d'août, c'était au tour →

A.DAGAN

de Vladimir Poutine d'annoncer le *"premier vaccin au monde enregistré contre le coronavirus"*; un vaccin baptisé malicieusement Spoutnik V, en référence au satellite soviétique mis en orbite le premier en 1957, au nez et à la barbe des Américains. Avec, en toile de fond, les accusations d'espionnage des projets occidentaux de vaccins par les services secrets russes, et de manipulation des résultats des essais de Spoutnik V. L'administration Trump n'est évidemment pas en reste, avec son plan vaccinal baptisé "Warp Speed" ("Vitesse de l'éclair"): les centres américains pour le contrôle et la prévention des maladies ont même demandé, début septembre, aux États fédéraux de se préparer en urgence à une éventuelle vaccination de masse pour le dimanche 1er novembre... soit deux jours avant l'élection présidentielle.

**DIFFICILEMENT COMPARABLES**

Mais la confusion règne aussi dans les laboratoires. *"Chacun conçoit ses essais cliniques pour qu'ils donnent le meilleur résultat possible, le plus tôt possible"*, critique Els Torreele, ex-directrice de la campagne Accès aux médicaments de Médecins sans frontières. Les placebos ne sont pas les mêmes, les populations vaccinées non plus, l'efficacité des vaccinations n'est pas mesurée de manière homogène. Même la façon de comptabiliser les cas de Covid-19 diffère d'un essai à l'autre. *"Il sera impossible de comparer les différents vaccins entre eux"*, critique la scientifique. Autrement dit, pas moyen de dire avec certitude quel sera le meilleur remède. Sachant que, dans la précipitation, de nombreuses alternatives ont été mises de côté: l'immense majorité des projets visent à déclencher des anticorps contre une seule protéine du virus, la Spike –susceptible de muter, qui plus est– sans égards pour d'autres cibles, d'autres agents de l'immunité comme les lymphocytes T et en considérant à peine d'autres modes d'administration plus pertinents du vaccin, par le nez ou la bouche.

Il ne fait guère de doute que la plupart des laboratoires ne soumettront leurs candidats que lorsque les données démontreront leur sûreté et leur efficacité –tout le monde joue gros dans cette affaire. Mais le bénéfice sociétal de voir sortir un vaccin très rapidement prend aussi le pas sur le temps de l'analyse et l'accumulation des preuves. Un jeu possiblement dangereux, au point que les groupes pharmaceutiques discutent en ce moment avec les États une décharge de leur responsabilité financière et judiciaire en cas d'effets secondaires qui n'auraient pas été détectés lors de ces essais cliniques accélérés... *"Étant donné le timing de développement, cette décharge est capitale: on ne trouvera pas d'assureur pour couvrir une telle responsabilité"*, justifie Franck Grimaud, directeur général de Valneva, une biotech franco-autrichienne dont 60 millions de doses de son candidat vaccin ont été préachetées.

Pour y voir plus clair dans ce chaos, nous avons décortiqué les premiers résultats des essais cliniques de vaccins candidats, exploré les modèles empiriques de vaccination, interrogé les meilleurs experts. Avec en tête les questions les plus brûlantes. Ces premiers vaccins seront-ils assez efficaces pour prévenir la transmission et l'infection dans les mois à venir? Faut-il craindre des effets secondaires graves? Pourra-t-on fabriquer suffisamment de vaccins et les distribuer de manière équitable et surtout efficace? Et puis, surtout, la population sera-t-elle d'accord pour se faire vacciner en masse? Enquête sur le vaccin le plus attendu de l'histoire.

# Une course aux

## Un développement en accéléré

La mise au point d'un vaccin demande environ 10 ans, mais celui contre le Covid-19 pourrait être prêt en... un an! Défi ahurissant, qui exige de mener les phases d'essai et de production en parallèle, et de mobiliser toute l'industrie.

| | |
|---|---|
| COVID-19 | objectif 1 an |
| EBOLA | 5 ans |
| PÉDIATRIQUES COMBINÉS | 11 ans |
| ROTAVIRUS | 15 ans |
| PAPILLOMAVIRUS | 15 ans |
| GRIPPE | 28 ans |
| VARICELLE | 28 ans |

## 5 techniques à l'épreuve

Certains laboratoires ont misé sur des techniques bien connues comme celle du vecteur viral. D'autres industriels ou start-up ont pris plus de risques, avec par exemple l'innovant vaccin à ARN. Mais la plupart ont le même objectif: éduquer notre système immunitaire à la protéine de surface (appelée Spike) du coronavirus.

### Vecteur viral

**Principe** Injection d'un virus atténué connu (ex: rougeole), dont on modifie le patrimoine génétique pour qu'il produise des protéines du coronavirus.

⊕ Ne nécessite pas d'adjuvants. Induit une réponse immunitaire complète.

⊖ Réactogène (effets secondaires modérés). Fabrication assez complexe et chère.

**Labos** Oxford, Pasteur-Merck, CanSino, Spoutnik V.



SOURCES: OMS, POTKINS'S VACCINES

# vaccins sans précédent

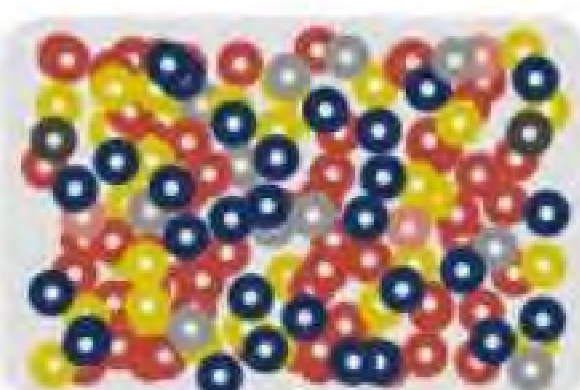
**PHASE PRÉCLINIQUE**
Études menées *in vitro* et sur animaux. But: commencer à évaluer la toxicité et le pouvoir immunogène du produit.

**PHASE 1**
Essais sur 10 à 100 adultes en bonne santé. But: évaluer la toxicité du traitement et son seuil de tolérance.

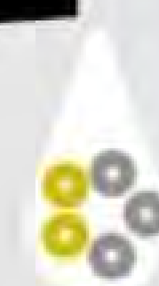
**PHASE 2**
Essais sur 50 à 500 individus de la population ciblée. But: étudier la réaction immunitaire, définir la dose optimale.

**PHASE 3**
Essais sur 1 000 à 100 000 individus. But: confirmer l'efficacité vaccinale en conditions réelles, évaluation du bénéfice/risque.

**APPROBATION**
Une instance nationale ou supranationale donne – ou pas – son autorisation. Si pandémie, une procédure d'urgence est possible.







## Virus inactivé

**Principe** Injection de coronavirus tués – avec du formol ou à haute température – afin que le système immunitaire apprenne à le reconnaître.

⊕ Sûr et stable. Peu réactogène. Technique de production éprouvée.

⊖ Réponse immunitaire variable. Plusieurs doses nécessaires.

**Labos** Sinovac, Sinopharm.



## Virus atténué

**Principe** Injection de coronavirus atténués susceptibles de créer une infection *a minima*. La protection immunitaire se construit.

⊕ Excellente réponse immunitaire. Ne nécessite pas d'adjuvants.

⊖ Réactogène. Peut redevenir virulent. Contre-indiqué chez les immunodéprimés, femmes enceintes.

**Labos** Codagenix.



## Génétique

**Principe** Injection d'ADN ou d'ARN messager du coronavirus. L'organisme vacciné exprime ensuite les protéines virales, et éduque le système immunitaire.

⊕ Méthode de production peu coûteuse et rapide.

⊖ Aucun recul (technologie nouvelle). Instabilité thermique (pour les vaccins ARN).

**Labos** Moderna Therapeutics, CureVac, BioNTech/Pfizer.



## Protéines

**Principe** Injection de protéines ou de fragments de protéines du coronavirus pour déclencher une réaction immunitaire protectrice.

⊕ Très sûr et stable. Peu cher à produire.

⊖ Pas de garantie d'une réponse immunologique cellulaire (CD8).

**Labos** Novavax, Sanofi, Osivax.



A.DAGAN

LE DÉFI DE L'EFFICACITÉ

# L'IMMUNITÉ EST-ELLE VRAIMENT GARANTIE ?

Un vaccin, et tout redeviendra comme avant ? Non, mais on peut en espérer moins d'infections, moins de cas graves ou moins de morts… Selon l'objectif visé.

Des vaccins contre le Covid-19 seront à notre disposition d'ici peu, cela ne fait guère de doute. Mais nous permettront-ils vraiment de retrouver une vie normale ? Pourrons-nous dès lors abandonner les masques, étreindre à nouveau nos proches, reprendre le métro sans crainte ? Tout dépend de leur efficacité. Un critère pas toujours simple à évaluer.

## QUELS CRITÈRES D'EFFICACITÉ ?

C'est durant les essais cliniques de phase 3 que l'on peut réellement estimer l'efficacité d'un vaccin. Cette dernière étape avant l'éventuelle autorisation de mise sur le marché *(voir p. 72)* consiste à comparer un groupe de plusieurs milliers de personnes qui reçoit le vaccin candidat avec un autre groupe homogène qui reçoit un placebo (soit une simple solution saline, soit un autre vaccin, selon les cas). Ni les participants ni les chercheurs ne savent qui prend quoi. Ce sont les fameux essais randomisés en double aveugle. Ne reste plus ensuite qu'à voir s'esquisser l'œuvre du virus et à comparer ses dégâts entre les différents groupes.

Oui, mais quel critère choisir ? On peut compter le nombre d'infections évitées au sein du groupe vacciné, en procédant à des tests virologiques. Ou ne considérer que les cas symptomatiques. Voire s'en tenir aux cas graves ou encore au nombre de décès évités. D'autres spécialistes proposent de mesurer cette efficacité à l'aune de la charge virale : si un vaccin permet de diminuer la quantité de virus qu'un individu peut héberger, cela pourrait permettre de réduire la gravité de la maladie et de diminuer le risque de transmission.

*"Rien n'est standardisé et chacun définit ce qui est son objectif"*, confirme Jean-Daniel Lelièvre, directeur du service d'immunologie clinique et maladies infectieuses de l'hôpital Henri-Mondor. Ainsi, pour le vaccin de Moderna, le premier critère d'efficacité est la réduction du nombre de cas de Covid, défini comme une personne qui développe au moins deux symptômes (fièvre et toux par exemple) et dont le test virologique est positif. Idem pour le vaccin d'AstraZeneca et de Pfizer, sauf qu'il suffit d'un seul symptôme et d'un test positif pour être comptabilisé →

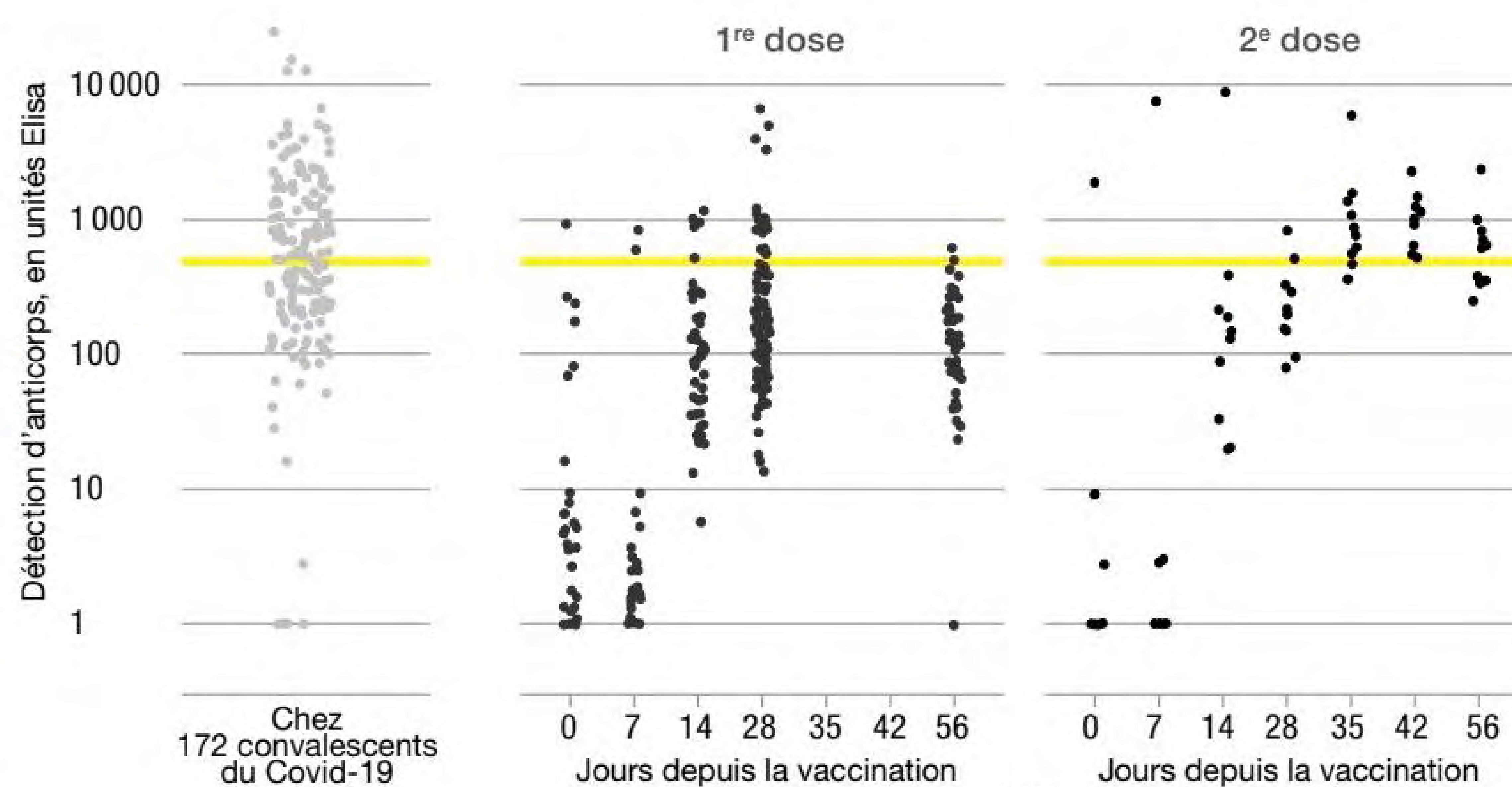
Le laboratoire de cultures cellulaires de la biotech chinoise Sinovac.

N.ASFOURI/AFP - M.KONTENTE




## La clé est le nombre d'anticorps que le vaccin pousse à produire

Après l'injection du vaccin expérimental d'Oxford, le niveau des anticorps neutralisants (immunoglobines de type G) grimpe ; il s'approche même de celui des convalescents du Covid-19 chez les participants ayant bénéficié d'une seconde dose.




SOURCE : FOLEGATTI ET AL., *THE LANCET*, 2020

→ comme un cas Covid. Une hétérogénéité qui risque de compliquer les comparaisons entre vaccins…

Le cahier des charges publié par l'OMS reste extrêmement flou sur ce point. Seules indications : l'efficacité peut être mesurée via la réduction des *"cas de Covid* [sans plus de précisions, ndlr]*, des cas graves et/ou de la charge virale"* et elle se doit d'être "d'au moins 50 %". Avec un intervalle de confiance fixé à 95 % (on accepte que 5 personnes sur 100 ne soient pas dans cette moyenne), cela signifie en pratique que l'efficacité peut descendre jusqu'à 30 %, autrement dit 3 chances sur 10 seulement d'être protégé par le vaccin. Toutefois, il ne s'agit là que de recommandations. Les agences réglementaires avancent sur ce point en ordre dispersé : la FDA, l'agence américaine, a adopté cette borne inférieure de 30 %, alors que l'agence européenne, l'EMA, n'a toujours pas fixé de limite d'efficacité.

D'ailleurs, dans les faits, il est probable que seuls les premiers vaccins soient jugés sur ces critères d'efficacité : les autres devront simplement montrer qu'ils ne sont pas moins efficaces que ceux déjà autorisés. Pour cela, il suffira de prouver que les nouveaux vaccins entraînent une production d'anticorps à des taux équivalents ou supérieurs aux produits déjà approuvés. Ce qui ne nécessite plus de grandes cohortes. Là encore, avec le jeu des intervalles de confiance, ces essais de non-infériorité seront jugés satisfaisants même s'ils sont 10 % en dessous de l'efficacité du vaccin de référence. *"Cela nous emmène sur une pente glissante : à la fin, nous ne sommes même plus sûrs que les produits en question font mieux que les placebos"*, commente Els Torreele, qui dirigeait jusqu'en avril 2020 la campagne pour l'accès aux médicaments de Médecins sans frontières.

**Prouver l'efficacité sur les cas graves ou la mortalité nécessite plus de participants et des suivis plus longs**

*"Si on descend sous les 50 %, on arrive à un point où les vaccins peuvent avoir très peu d'efficacité*, a commenté Peter Marks, directeur du Centre d'évaluation et de recherche sur les produits biologiques de la FDA, l'agence américaine des médicaments. *D'un autre côté, si nous fixons une limite d'efficacité entre 70 et 80 %, nous pourrions ne pas avoir de vaccin tant que l'immunité collective n'est pas acquise naturellement…"*

### TAUX DE COUVERTURE

En réalité, la notion d'efficacité dépend de l'objectif visé. L'idéal de toute vaccination est d'interrompre la transmission du virus pour empêcher sa propagation. Le vaccin contre la rougeole répond parfaitement à cet objectif : il bloque le virus chez plus de 95 % des personnes vaccinées, et ce pour toute la vie. Néanmoins, vu la contagiosité de ce virus (un malade contamine entre 15 et 20 personnes), il est nécessaire de vacciner 95 % de la population pour enrayer l'épidémie. Pour le Sars-Cov-2, les travaux de modélisation montrent qu'avec un vaccin capable de prévenir 60 % des infections, on pourrait empêcher l'épidémie à condition de vacciner 100 % de la population. Ce qui paraît totalement inenvisageable. En partant sur un taux de vaccination plus réaliste (mais toujours très optimiste) de 60 %, le seuil d'efficacité doit atteindre 80 % pour éviter l'épidémie.

Avec des niveaux d'efficacité inférieurs, ou des couvertures vaccinales en deçà de 60 %, le virus continuera de circuler. Dans ce cas, il faudrait d'autres vaccins dont l'objectif ne serait plus nécessairement d'interrompre la transmission mais de ré-

## UN SPRAY NASAL PLUTÔT QU'UNE PIQÛRE ?

La plupart des vaccins en développement passent par voie intramusculaire. Or, souligne Pierre Charneau, de l'Institut Pasteur, *"un vaccin contre le coronavirus efficace est celui qui permet d'amener la protection vaccinale à la porte d'entrée du virus, les voies respiratoires. Les anticorps neutralisants présents dans le sang ne participent que marginalement à la protection"*. En partenariat avec la biotech TheraVectys, ce chercheur, dont il est le directeur scientifique, développe un candidat vaccin par spray nasal. *"Lorsqu'on a fait nos essais chez l'animal par voie intramusculaire, la protection était médiocre. En ajoutant une administration par voie intranasale, on a observé une réduction de la charge virale dans les poumons des souris d'un facteur 100000…"* Jean-Daniel Lelièvre nuance : *"D'un point de vue pratique, on maîtrise moins bien : si le nez coule par exemple, impossible de s'assurer de la quantité de vaccin injecté"*.



A. DOWSETT/SPL

## LE CAS DU BCG: UNE EFFICACITÉ CAPRICIEUSE

Impossible de définir l'efficacité de la vaccination contre la tuberculose. La protection de ces vaccins varie de 0 à 80%! Cette variabilité dépend des souches de bacille utilisées par les fabricants, des procédés et conditions de culture pour atténuer leur virulence… et des populations vaccinées (origine géographique, état de santé, voire conditions de vie). Des études ont révélé que les effets secondaires de ce vaccin, notamment la "BCGite", sont liés à des mutations génétiques particulières.

duire le nombre d'hospitalisations ou de morts. Au final, ce sont bien les cas graves et les hospitalisations qui ont paralysé les pays, non l'infection elle-même. *"Si nous avons un vaccin qui ne prévient pas l'infection mais réduit de 80% les formes graves, on le recommanderait chez les personnes à risque face à des clusters"*, illustre Daniel Floret, vice-président de la Commission technique des vaccinations de la Haute Autorité de santé, qui souligne que *"les essais sur les primates penchent plutôt pour de tels vaccins, qui ne préviennent que les formes graves et les décès"*.

Toutefois, prouver une efficacité sur les cas graves ou la mortalité nécessite forcément plus de participants et des suivis de plus longue durée, puisque seul un faible pourcentage des infections se traduit par de telles complications. Les essais en cours ont inclus ces mesures comme *"critères d'efficacité secondaires"*, mais il n'est pas sûr que la taille et la durée des essais permettent d'obtenir des réponses suffisamment solides. En outre, *"si on applique rigoureusement les règles des essais cliniques, dès lors que l'objectif n'est pas atteint sur le critère de jugement principal, le produit est mort et on ne peut pas regarder les critères secondaires"*, ajoute Daniel Floret.

### L'ESPOIR D'UN VACCIN "UNIVERSEL"

Enfin, c'est une chose de mesurer l'efficacité d'un vaccin dans le cadre des essais cliniques, c'en est une autre de l'évaluer dans la "vraie vie". Les premiers vaccins arriveront nécessairement au compte-gouttes *(voir p. 76)*: ils seront donc réservés aux personnes à risques, âgées de plus de 65 ans ou présentant des facteurs d'aggravation de la maladie (obésité, maladie chronique respiratoire, diabète…). Or, cette catégorie de la population est sous-représentée, voire absente, dans les essais de phase 3. Il est tout à fait possible que l'efficacité soit moindre chez elle.

Par ailleurs, obtenir une efficacité jugée satisfaisante au bout de trois ou six mois d'essais cliniques ne nous renseigne pas sur l'efficacité à plus long terme. Plusieurs spécialistes ont d'ailleurs pointé du doigt un risque non négligeable: plus de 90% des candidats vaccins visent la même protéine, la Spike. Or celle-ci, située à la surface du virus, mute plus facilement que les protéines dites non structurales, logées à l'intérieur du virus. *"Si cette protéine Spike mute, tous les projets vaccins qui la ciblent tomberont à l'eau!"*, prévient Delphine Guyon-Gellin, qui dirige un projet vaccin Covid chez Osivax, une biotech lyonnaise. Leur vaccin candidat vise une protéine située dans le ventre du virus, la nucléocapside, qui non seulement est plus conservée dans le temps, mais aussi entre les différentes souches de coronavirus. D'où l'espoir d'en faire un vaccin "universel" contre tous les coronavirus.

On pourrait se dire qu'après tout, même un vaccin faiblement efficace serait le bienvenu si le virus se remettait à circuler autant qu'au printemps. Pourtant, des vaccins médiocres représentent un risque, soulignent plusieurs spécialistes dans une tribune publiée dans *The Lancet*: *"Le déploiement d'un vaccin peu efficace pourrait aggraver la pandémie de Covid-19 si les autorités supposent à tort qu'il entraîne une réduction substantielle du risque, ou si les personnes vaccinées se croient immunisées alors qu'elles ne le sont pas"*. Un tel scénario affaiblirait en effet la mise en œuvre ou le respect des autres mesures de contrôle du Covid-19. Qui, pour certaines (masques ou distanciation sociale), montrent une efficacité largement supérieure à celle attendue de ces vaccins…

LE DÉFI DE LA SÉCURITÉ

# FAUT-IL AVOIR PEUR DES EFFETS SECONDAIRES ?

Peut-on créer un vaccin dans l'urgence sans sacrifier sa sécurité ? Il faut mettre en balance les risques encourus et les bénéfices attendus… très variables d'un patient à l'autre.


Traitement d'échantillons biologiques lors d'un test clinique de phase 1 à Vitoria, en Espagne.

JAVIER LARREA/AGE - M.KONTENTE

C'est la question que tout le monde se pose : les premiers vaccins contre le Covid seront-ils sûrs ? Sous la pression politique, économique et sociale, plusieurs laboratoires ont déjà annoncé qu'ils demanderont une autorisation accélérée de mise sur le marché dès que leurs données indiqueront une efficacité suffisante (de l'ordre de 50 %). Une procédure à peine moins rapide que celle qui a permis les premières utilisations du vaccin russe Spoutnik V cet été, où une demande d'autorisation d'urgence a été faite avant même que les essais en phase 3 démarrent.

Mais peut-on produire des vaccins aussi rapidement sans sacrifier leur sécurité ? Est-il vraiment possible de tester l'innocuité d'un vaccin avec un recul d'à peine quelques mois ? *"Autant les essais de phase 3 permettront d'estimer l'efficacité de ces vaccins, autant on doit être plus réservé sur la question de la sécurité"*, prévient Daniel Floret, de la commission technique des vaccinations de la Haute Autorité de santé.

Le discours officiel se veut rassurant : *"Nous ne ferons pas de compromis sur la sécurité et la qualité des vaccins"*, martèle la directrice générale de l'OMS, Margaret Chan. *"Nous nous engageons à toujours faire de la sécurité et du bien-être des personnes vaccinées notre priorité absolue"*, affirment de leur côté neuf industriels pharmaceutiques impliqués dans la course aux vaccins, dans une lettre commune publiée le 8 septembre.

## UN COMPROMIS À TROUVER

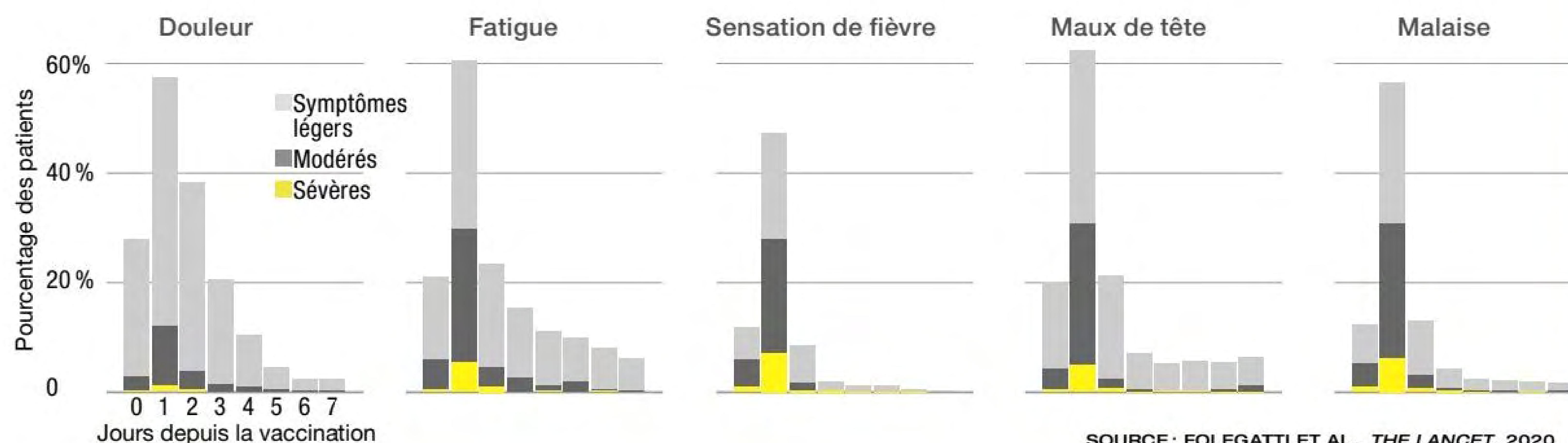
Sauf que, fort logiquement, il est tout à fait impossible d'obtenir les mêmes garanties de sécurité après un essai clinique de phase 3 réalisé dans une poignée de régions du monde pendant trois ou quatre mois, qu'avec un essai mené sur des dizaines de sites différents s'étalant sur plusieurs années – le temps nécessaire pour faire remonter les signaux faibles. *"Plus le suivi sera long, plus on sera rassuré sur la question de la sécurité,* insiste Daniel Floret. *On comprend bien pourquoi, dans la situation actuelle, on se contente d'un suivi limité, mais il y a un compromis à trouver entre nos exigences de sécurité et nos exigences sanitaires."* Pour le vaccin contre le papillomavirus, les essais de phase 3 avaient par exemple duré quatre années et portaient au total sur plus de 100 000 personnes…

Chacun peut comprendre ce niveau d'exigence : les vaccins, administrés à des millions d'adultes et d'enfants souvent en bonne santé, peuvent déclencher, comme n'importe quel médicament, des effets indésirables. La plupart du temps, il s'agit d'effets secondaires peu graves et réversibles : douleur, éruption cutanée, →



## Tout dépend de la nature et de l'intensité des effets indésirables

Les premiers essais du vaccin mis au point par les chercheur de l'université d'Oxford (nom de code ChAdOx1 nCov-19) montrent une proportion importante de fièvres, douleurs, fatigue, voire malaises…




SOURCE : FOLEGATTI ET AL., *THE LANCET*, 2020

fièvre, épisode de convulsion… Les premiers résultats des phases 1 et 2 montrent que ces effets sont particulièrement fréquents pour les différents vaccins candidats contre le Covid-19: entre 60 et 80% des personnes vaccinées rapportent de la fatigue, des douleurs musculaires, des maux de tête, etc., durant les premiers jours qui suivent la vaccination. Rien de rédhibitoire, a priori: ces symptômes disparaissent au bout de sept jours.

Qu'en est-il des effets graves et irréversibles? La question est prise très au sérieux. Le groupe pharmaceutique AstraZeneca a été contraint ces derniers mois de suspendre son essai vaccinal, à deux reprises, suite à la découverte d'atteintes neurologiques chez deux patientes – les analyses sont en cours pour déterminer s'il s'agit d'une fausse alerte.

### L'INFECTION FACILITÉE

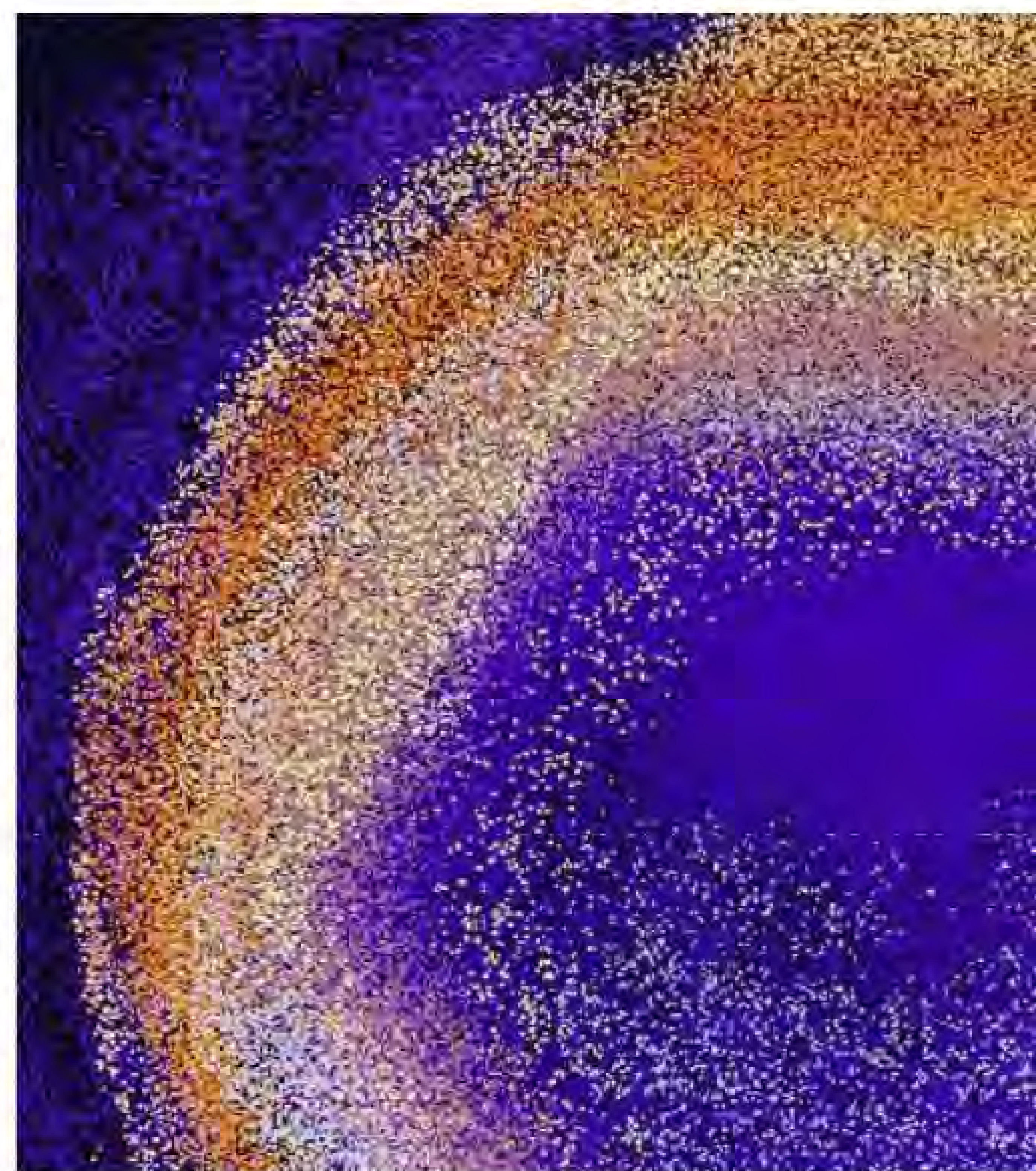
Mais certains immunologues redoutent qu'une vaccination contre le nouveau coronavirus aggrave en réalité l'infection chez des personnes déjà exposées ou qui seraient amenées à rencontrer le virus une fois vaccinées – un comble. Ce phénomène de "facilitation de l'infection par les anticorps" avait été observé lors des essais précliniques d'un vaccin mis au point lors de l'épidémie de Sras de 2003, un coronavirus très proche de l'actuel Sars-Cov-2. *"On s'est aperçu que des anticorps neutralisant le virus du Sars pouvaient faciliter son entrée dans les cellules dites myéloïdes, comme les macrophages ou les polynucléaires, qui constituent l'essentiel des cellules de l'immunité innée"*, rapporte Marc Daëron, chercheur invité à l'Institut Pasteur, qui a participé à ces études. Qu'en est-il avec ce nouveau coronavirus? Les données préliminaires semblent plutôt rassurantes. Mais seuls les essais en phase 3 permettront de vérifier qu'une deuxième exposition au virus n'aggrave pas les symptômes.

D'autres experts craignent que l'utilisation de vecteurs comme les adénovirus entraînent des inflammations importantes, notamment au niveau des muqueuses… ce qui pourrait faciliter le travail du virus. Enfin, de nombreux spécialistes soulignent qu'ils ne disposent d'aucun recul sur l'impact des très innovants vaccins ARN.

De manière générale, les effets indésirables graves surviennent très rarement: environ 1 accident grave pour 100 000 vaccinés, soit 0,001%. Si bien qu'il est quasiment impossible de les détecter durant les essais de phase 3. C'est mathématique: la taille des cohortes vaccinées lors des essais contre le Covid-19 varie entre 10 000 et 20 000 personnes, et le moindre effet secondaire grave d'une fréquence inférieure à 1 pour 10 000 a de grandes chances de passer inaperçu.

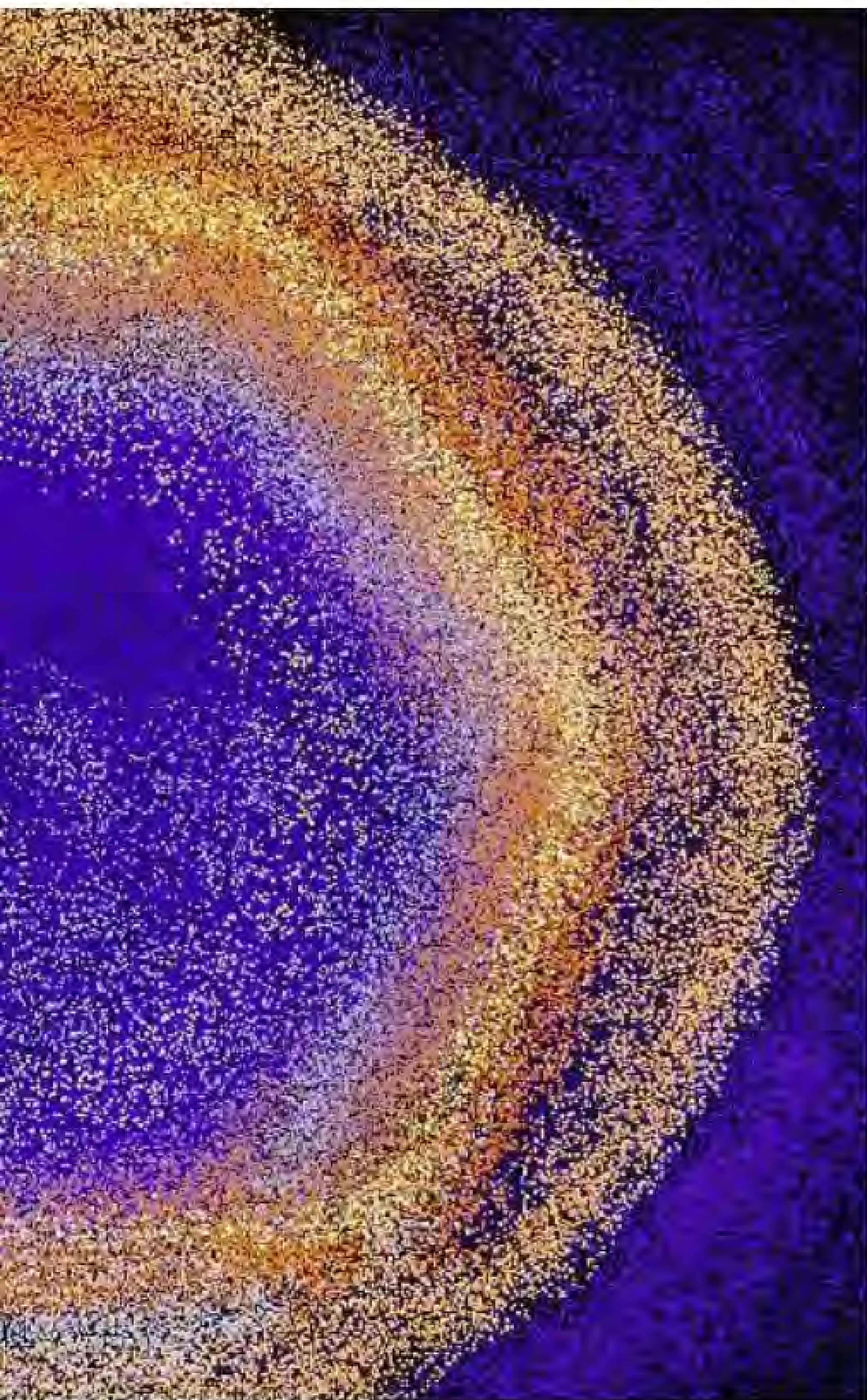
En fait, ces effets graves mais rarissimes sont repérés plus tard, une fois que les médicaments sont mis sur le marché et injectés massivement. À l'image de ce qui s'est produit en 2009, avec le vaccin développé en urgence dans le cadre de l'épidémie de H1N1. Le système de pharmacovigilance finlandais, particulièrement performant, avait détecté un risque de narcolepsie au bout de deux ans d'utilisation – massive dans ce pays – sur les enfants et adolescents. La probabilité de développer ces crises de somnolence aiguës était de 1 sur 16 000 jeunes vaccinés, durant les huit mois qui suivaient l'injection. Risque déjà impossible à capturer dans les traditionnels essais cliniques de phase 3… Alors imaginez pour les vaccins contre le Covid-19 dont les autorisations d'utilisation pourraient être accordées en urgence, après à

> Les effets indésirables graves, parce que rarissimes, sont repérés tard, une fois que les médicaments sont mis sur le marché



**LE CAS DE LA DENGUE: UNE FAILLE IMPRÉVUE**

En 2015, un vaccin contre la dengue en phase 3 révèle une faille: dans le groupe des moins de 5 ans, le risque de dengue sévère est 7 fois plus élevé chez les vaccinés. Une réanalyse des essais cliniques montre que ce risque dépend des antécédents de dengue: chez les personnes qui n'ont jamais rencontré le virus, le vaccin est reconnu comme une première infection; lors d'une exposition ultérieure au "vrai" virus, la maladie s'emballe. Le programme a été interrompu.



VEM/BSIP

peine trois mois de recul, dès lors qu'une efficacité supérieure à 50 % aura été démontrée. *"C'est dire l'importance de mettre en place un suivi particulier de pharmacovigilance lors de leur utilisation à plus large échelle pour repérer rapidement ces effets secondaires"*, souligne Daniel Floret.

Pour Eric Topol, directeur du Scripps Research Translational Institute (Californie), ces autorisations accélérées sont des raccourcis dangereux: *"Vous passez à côté des problèmes de sécurité et vous pouvez facilement exagérer les bénéfices."*

De fait, la question du risque est intimement liée à celle des bénéfices attendus. Car, au final, seule cette balance bénéfice/risque permet de justifier la mise sur le marché d'un médicament. Si le virus se remet à circuler comme au printemps, faisant plus de 1000 morts par jour et paralysant l'ensemble du pays, les bénéfices d'un vaccin, même de faible efficacité, seront jugés importants. A contrario, si le virus circule à bas bruit, entraînant quelques clusters de-ci de-là, la balance sera plus incertaine.

### UNE BALANCE PLUS DIFFICILE À ÉTABLIR POUR LES JEUNES

Une chose est sûre: la balance restera toujours favorable pour les personnes à risque. Au-delà de 65 ans, le taux de létalité du Covid-19 dépasse les 3 %. Des effets indésirables de même ampleur seraient très repérables: deux des essais en cours (AstraZeneca et Moderna), comptant entre 3700 et 4500 personnes de plus de 65 ans vaccinées, verraient émerger un nombre spectaculaire d'accidents – entre 112 et 135. En dessous de 50 ans, le risque de mourir du coronavirus passe sous les 0,3 %, il atteint même 0,01 % chez les moins de 20 ans, à la limite donc de détection des effets indésirables dans les essais actuels. Pour les plus jeunes, la balance bénéfice/risque est donc plus difficile à établir. Même s'il n'y a pas que la mortalité à mettre dans la balance, car cette maladie entraîne d'autres conséquences importantes: fatigue persistante, atteintes pulmonaires et cardiaques, troubles neurologiques, etc.

Mais ces nouveaux vaccins comportent un risque d'une portée bien plus vaste: leur plus petite défaillance, le moindre accident, risque d'avoir un impact délétère sur l'image de... tous les autres vaccins, y compris les plus essentiels (rougeole, tétanos, diphtérie, etc.). Après les déboires de la vaccination contre la grippe H1N1 (cas de narcolepsie, soupçons de conflits d'intérêt, campagnes sans les médecins traitants...), la part des Français qui déclaraient ne pas faire confiance aux vaccins était passée de 8 % à 38 %. Bref: de la sécurité de ces produits anti-Covid développés à la hâte dépend une bonne part de la santé mondiale.

## FAUT-IL INOCULER LE CORONAVIRUS À DES VOLONTAIRES ?

C'est le principe des "challenges humains": prenez quelques centaines de volontaires, jeunes et en bonne santé, vaccinez la moitié à l'aveugle (les autres reçoivent un placebo), puis inoculez à tous le virus. Cette méthode demande 200 fois moins de volontaires que les essais traditionnels et les résultats sont disponibles en quelques semaines. *"Si cela permet de bénéficier d'un vaccin avant la fin de l'épidémie, on pourrait sauver des milliers de vies"*, estime l'épidémiologiste américain Marc Lipsitch. D'autres experts soulignent notre profonde ignorance face à ce virus. *"On découvre constamment de nouvelles pathologies induites, y compris chez les jeunes"*, insiste l'infectiologue américain William Haseltine. Le Comité analyse, recherche et expertise (CARE) Covid-19 s'est prononcé quant à lui contre cette méthode, en juillet 2020. Les résultats chez des jeunes volontaires en bonne santé ne seraient pas plus transposables aux personnes vulnérables que ceux réalisés sur des modèles animaux, ont-ils fait valoir.

LE DÉFI DE L'ALLOCATION

# À QUI DISTRIBUER LE VACCIN EN PRIORITÉ ?

Répartir les milliards de doses promises par les laboratoires s'annonce comme un véritable casse-tête logistique. Auquel s'ajoutera le défi du transport et du stockage.

Développer un vaccin efficace et sûr relève déjà d'une belle gageure. Mais une autre difficulté de taille s'ajoute ici : celle de sa fabrication et de sa distribution. Une fois qu'un ou plusieurs vaccins auront prouvé leur efficacité et leur sécurité, il faudra bien en effet fabriquer des milliards de doses aussi vite que possible. Et les distribuer de manière équitable, là où il y en a besoin.

Pour répondre à ce défi inédit, la production en masse de ces vaccins est déjà lancée, avant même les résultats des essais cliniques. Si l'on s'en tient aux déclarations des producteurs de vaccins, on pourrait espérer disposer de quelque 10 milliards de doses en 2021. Un chiffre qui pourrait être artificiellement gonflé, estiment plusieurs experts. L'industriel le plus offrant est de loin AstraZeneca, qui promet 2,94 milliards de doses si son vaccin est accepté. Quasiment la moitié de celles-ci sont d'ores et déjà préachetées par le Royaume-Uni, les États-Unis, l'Europe et le Japon.

De fait, les pays riches, qui représentent 13 % de la population mondiale, ont déjà préacheté 51 % des doses promises par les principaux industriels impliqués dans la course aux vaccins Covid. Le Royaume-Uni et les États-Unis ont par exemple réservé tellement de vaccins que s'ils obtiennent tous une autorisation de commercialisation, ces pays bénéficieront de plus de cinq doses par habitant ! De même pour l'Europe : si toutes les négociations en cours aboutissent, *"l'Europe pourrait au final se retrouver avec un surplus de doses"*, calcule Franck Grimaud, directeur général de Valneva, une biotech franco-autrichienne dont le candidat vaccin entre en première phase d'essais cliniques à la fin de l'année. Une vision jugée trop optimiste par d'autres : en moyenne, moins de 1 vaccin sur 5 en phase 3 parvient à une autorisation de mise sur le marché, préviennent les négociateurs.



Essais de conditionnement du vaccin mis au point par l'université d'Oxford, en septembre 2020.

VINCENZO PINTO/AFP - M.KONTENTE

### STRATÉGIES D'APPROVISIONNEMENT

À l'inverse, les pays à faible revenu n'ont pas pu passer de tels contrats. Pour les approvisionner, un mécanisme international a vu le jour, appelé AMC Covax (pour Advance Market Commitment Covid Vaccines), porté par l'Alliance Gavi, une coalition de partenaires privés (notamment la Fondation Gates) et publics dont le but est d'aider à la vaccination dans les pays pauvres. Toutefois, les dons ne sont pas à la hauteur des objectifs. Pour l'heure, à peine 1,5 % de la population des pays à faibles et moyens revenus pourrait recevoir une dose…

Or, une stratégie d'approvisionnement pays par pays, en fonction des revenus de ces derniers, pourrait s'avérer perdante à l'échelle mon-

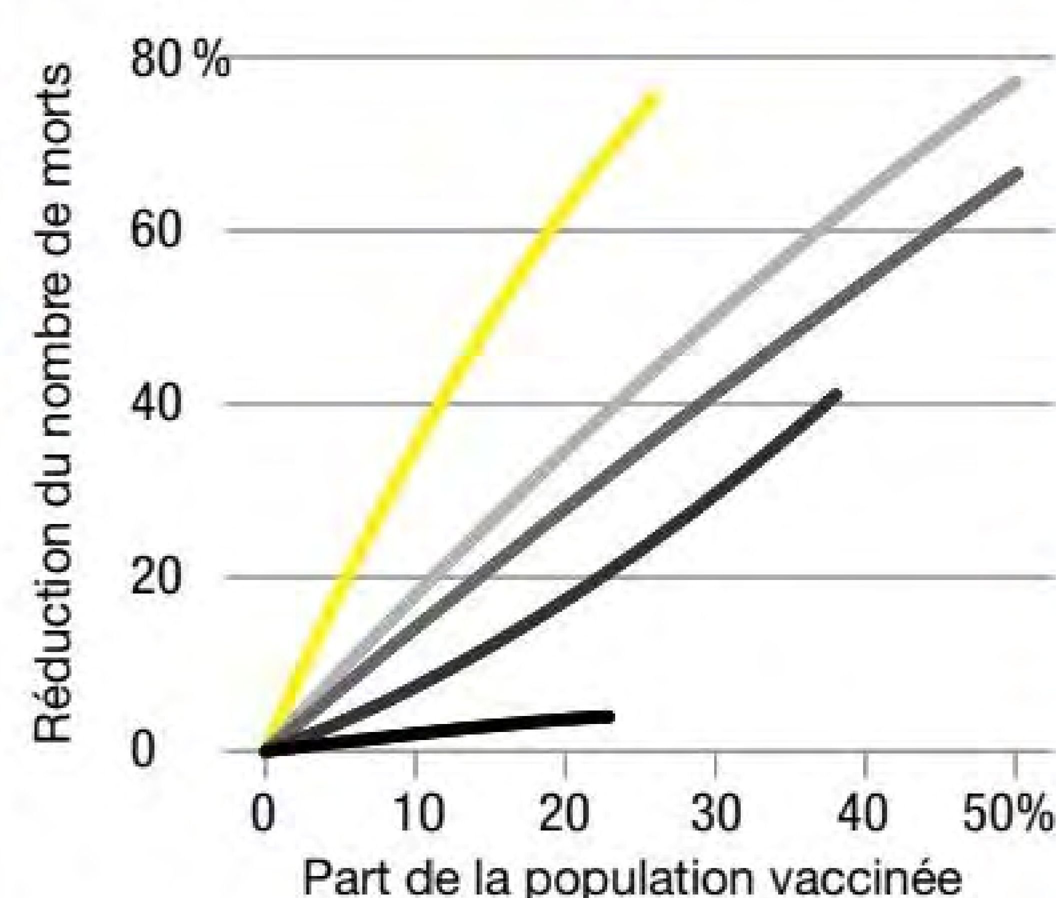
diale. D'après une récente modélisation effectuée par une équipe de chercheurs américains, si les pays riches monopolisaient 2 milliards de doses sur 3 milliards de disponibles, alors la pandémie continuerait partout ailleurs, ce qui entraînerait deux fois plus de morts que si les doses étaient distribuées de manière équitable partout dans le monde, proportionnellement à la population de chaque pays.

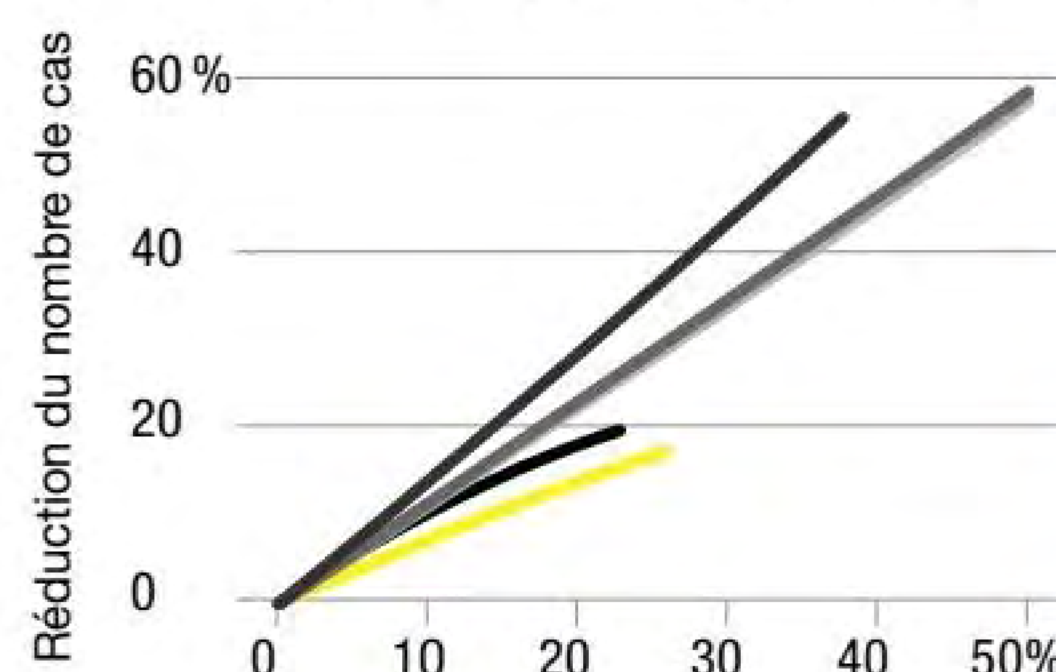
Toutefois, pour certains experts, la distribution idéale de ces vaccins ne correspond pas nécessairement à une allocation équitable entre tous les pays, en fonction de leur population. *"Il faudrait pouvoir prendre en compte quelle population est susceptible de bénéficier le plus des avantages des différents vaccins, et répartir les doses là où il y en a le plus besoin"*, estime Els Torreele, ex-directrice de la campagne Accès aux médicaments de Médecins sans frontières. Les pays où le virus circulera intensément devraient →

## Une question d'âge

D'après une étude de l'université du Colorado, vacciner prioritairement des personnes de plus de 60 ans permettrait de réduire rapidement le nombre de décès du Covid-19. Cibler les plus jeunes diminuera le nombre d'infectés dans la population.

Vaccin efficace à 75 % et priorité donnée aux :
Moins de 20 ans — 20 ans et plus — 60 ans et plus — 20 à 49 ans — Tous âges




SOURCE : BUBAR ET AL., MEDRXIV, 2020

ainsi être privilégiés. Et plutôt que de calculer le nombre de doses nécessaires en fonction de la population, un calcul plus fin prendrait en compte la part de la population à risque : celle ayant plus de 65 ans, celle porteuse de pathologies connues pour augmenter le risque de Covid grave (obésité, maladies cardio-vasculaires, maladies respiratoires chroniques, cancers…), sans oublier les personnes les plus exposées de par leur travail (professionnels de santé ou au contact de personnes vulnérables).

**CIRCONSCRIRE LES CLUSTERS**

Ces stratégies de distribution du vaccin dépendront en réalité des caractéristiques du ou des vaccins disponibles. Un vaccin qui diminue le risque de formes sévères concernera d'abord les populations vulnérables. Alors qu'un vaccin qui empêche la transmission du virus visera les populations les plus susceptibles d'être infectées et celles qui ont le plus de risques d'infecter les autres (notamment le personnel soignant). Avec un tel vaccin, certains pays, dont la France, envisagent également une stratégie de vaccination en anneau, comme pour le virus Ebola *(voir encadré)*. L'objectif étant dès lors de limiter la diffusion du virus au-delà des clusters.

Une autre stratégie pourrait s'avérer payante : cibler les "super-propagateurs". En Chine, une recherche menée sur plus de 1500 personnes dévoile que seulement 8,9 % des individus infectés sont responsables de 80 % des cas de contaminations secondaires. *"Si l'on parvient à mettre en place une stratégie vaccinale qui imite cette hétérogénéité, en vaccinant préférentiellement les personnes les plus à risque d'être contagieuses, cela signifie qu'en principe, vacciner 10 à 20 % de la population pourrait suffire"*, examine Gabriela Gomes, de l'École de médecine tropicale de Liverpool, co-auteure d'une modélisation sur la question.

Problème : nous ne savons pas encore comment déterminer à l'avance qui deviendra un parfait agent de contamination. La première vague épidémique nous a toutefois révélé que ces personnes se font généralement elles-mêmes contaminer lors d'"événements super-contaminants", où elles reçoivent une forte dose de virus, dans des lieux confinés. Parmi ces lieux et événements : les hôpitaux, les lieux de culte, les Ehpad, les bateaux de croisière, les sous-marins, les centres de fitness, les chorales, les boîtes de nuit, les conférences, les casernes militaires, les centres pour

GETTY IMAGES

## FAUT-IL VACCINER LES ENFANTS ?

*"Les enfants ne sont pas la priorité"*, tranche Daniel Floret, du comité technique des vaccinations. Tout d'abord, ils sont peu sensibles au Sars-Cov-2 : en France, le taux de létalité chez les moins de 20 ans est de 0,001 % d'après les données de Santé publique France. Autrement dit, moins d'un jeune infecté sur 100000 en meurt. Ce taux est inférieur à ceux de toutes les maladies infectieuses contre lesquelles les enfants sont actuellement vaccinés (rougeole, pneumocoques, tétanos, oreillons…). Ensuite, les enfants participent peu à la transmission de ce virus. En Islande, plus de 9000 personnes "à risque" (présentant des symptômes, en contact avec des personnes contaminées ou de retour d'une région où l'épidémie est forte) ont été testées. Résultat : les enfants de moins de 10 ans étaient deux fois moins susceptibles d'être porteurs du virus que les plus âgés. De plus, parmi les 13000 Islandais non à risque inclus dans l'étude, aucun des 848 enfants de moins de 10 ans n'a été testé positif au coronavirus. Les enfants ne semblent donc pas être des réservoirs à Sars-Cov-2. Enfin, aucun essai clinique en cours ne porte sur les moins de 18 ans, donc les éventuelles autorisations de mise sur le marché ne viseront que les adultes. *"Pour l'heure, concernant les critères d'âge, les personnes âgées sont prioritaires,* précise Daniel Floret. *Espérons que ces vaccins fonctionnent chez elles…"*



## LE CAS D'EBOLA : UNE STRATÉGIE RÉUSSIE

En 2015, face à l'urgence d'une épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest, un vaccin est testé chez l'homme, sans aucun essai clinique préalable. Plus de 5800 personnes le reçoivent, selon une stratégie dite "en anneau" : dès qu'une personne est atteinte, on vaccine les cas contacts. Aucun cas supplémentaire d'Ebola ne survient chez les personnes vaccinées, 80 effets secondaires "sérieux" sont rapportés, dont deux jugés liés à la vaccination. Lorsque le virus revient en 2018, plus de 300000 personnes reçoivent le vaccin, toujours selon la même stratégie. L'efficacité atteint 97,5 %. Des stocks sont en train d'être constitués pour prévenir les prochaines flambées.

migrants, les enterrements, les mariages, les manifestations sportives ou encore les abattoirs…

En France, la Haute Autorité de santé a élaboré plusieurs scénarios en fonction de l'état de l'épidémie au moment de l'arrivée du ou des vaccins, des caractéristiques desdits vaccins ainsi que de leur disponibilité.

### CIBLES PRIORITAIRES

Quel que soit le scénario envisagé, les professionnels de santé et du médico-social ainsi que les personnes à risque de formes graves (plus de 65 ans ou présentant un critère de vulnérabilité) seront les cibles prioritaires de la vaccination. Ce qui représente quasiment la moitié de la population française, soit 32,6 millions de personnes. La plupart des vaccins actuellement à l'essai nécessitant deux doses (à l'exception des candidats de Johnson & Johnson et de CanSino), il faudrait donc une réserve de 65 millions de doses pour les protéger correctement.

Multipliez ce scénario dans tous les pays du monde, et vous avez une idée de l'effroyable casse-tête logistique qui nous attend. Prenons déjà le stockage. Le vaccin de Pfizer, par exemple, nécessite d'être conservé à une température constante de -70 °C ! Pour celui de Moderna, ce sera -20 °C. Le vaccin d'AstraZeneca, lui, n'aurait pas besoin d'être congelé, ce qui représente un sacré avantage.

De fait, le moindre incident dans la chaîne du froid, et l'efficacité de ces vaccins peut s'en trouver amoindrie. Dans certaines campagnes vaccinales, jusqu'à 60 % des vaccins sont ainsi gaspillés à cause d'une rupture de la chaîne du froid. Plusieurs entreprises logistiques investissent déjà dans de nouvelles installations de stockage au froid, en prévision des campagnes vaccinales. UPS a ainsi annoncé la construction de 600 unités de refroidissement capables d'atteindre -80 °C. Toutefois, il est d'ores et déjà sûr que certains pays n'auront pas l'infrastructure nécessaire pour stocker correctement ces vaccins.

Au-delà du stockage, se pose aussi tout simplement le problème du transport. *"Même en supposant que la moitié des vaccins nécessaires pourront être transportés par voie terrestre, l'industrie du fret aérien devra tout de même relever le plus grand défi de son histoire"*, prévient l'Association internationale du transport aérien (IATA) qui a fait le calcul : *"Une simple dose à 7,8 milliards de personnes suffirait à remplir 8000 avions cargos de type 747."*

Enfin, une dernière caractéristique est également à prendre en compte : le mode d'utilisation de ces vaccins. Un vaccin qui nécessite une injection intramusculaire sera forcément plus complexe à administrer à grande échelle qu'un vaccin oral ou via un spray nasal, qui n'exige pas la présence d'un médecin. Or, pour l'heure, tous les vaccins en phase 3 d'essai clinique passent par une injection.

Bref, trouver un vaccin sûr et efficace et le produire en quantité suffisante ne représente finalement qu'une petite partie du problème…

> Il faudrait une réserve de 65 millions de doses pour protéger les 32,6 millions de Français les plus concernés par le vaccin

LE DÉFI DE L'ACCEPTABILITÉ

# LA POPULATION SERA-T-ELLE D'ACCORD ?

Il faudra déployer beaucoup de pédagogie pour convaincre un large public d'accepter le futur vaccin. Surtout en France, où le vaccino-scepticisme est très élevé.

C'est bien beau d'avoir des vaccins efficaces, sûrs et susceptibles d'être distribués partout où il y en a besoin. Mais encore faut-il que ces vaccins soient acceptés par les populations. Si un trop grand pourcentage des personnes refusent ces injections, même le meilleur vaccin n'aura aucun impact en termes de santé publique. Tel est le dernier défi à relever dans cette course aux vaccins : convaincre de l'importance de se faire vacciner.

Et c'est loin d'être gagné. Avant même l'irruption de ce nouveau virus dans nos vies, l'hésitation vaccinale représentait déjà un vrai problème. Cette défiance figure même sur la liste des dix plus grandes menaces envers la santé mondiale dressée par l'OMS, aux côtés de l'antibiorésistance, d'Ebola ou encore de la pollution. Et ce "vaccino-scepticisme" est particulièrement élevé en France.

D'après une étude internationale menée dans 67 pays depuis 2015 par l'anthropologue Heidi Larson, de la London School of Hygiene and Tropical Medicine, la France est l'un des pays qui a le moins confiance dans les vaccins. Selon les dernières données publiées en septembre 2020, 8 % des Français se sont ainsi prononcés comme tout à fait opposés à l'affirmation suivante : *"Dans l'ensemble, je pense que les vaccins sont sûrs."* Ce qui en fait le cinquième pays le plus méfiant après l'Azerbaïdjan, la Bosnie-Herzégovine, la Macédoine et le Kazakhstan.

## L'ENTHOUSIASME A FAIT PLACE À LA MÉFIANCE

Dès lors, à quoi faut-il s'attendre lorsque des vaccins anti-Covid seront disponibles ? *"Logiquement, les expériences traumatisantes en matière de maladies contagieuses encouragent ensuite à se faire vacciner,* raisonne Patrick Zylberman, professeur émérite à l'École des hautes études en santé publique, qui vient de publier un livre sur les oppositions aux vaccins (*La Guerre des vaccins,* paru en juin aux éditions Odile Jabob). *Quand un vaccin fait défaut, sa nécessité devient plus évidente."*

Pourtant, au fil des sondages, c'est exactement l'inverse qui se produit : l'enthousiasme a fait place à la méfiance. En septembre, un sondage mené dans 22 pays révélait que 41 % des Français étaient tout à fait réticents ou plutôt réticents à recevoir un vaccin contre le Covid dès lors qu'il serait disponible. La France se positionnait alors comme le quatrième pays le plus hésitant, derrière la Russie, la Pologne et la Hongrie. Seuls 22 % des Français se disaient tout à fait d'accord pour recevoir un vaccin contre le Covid dès lors qu'il serait disponible.

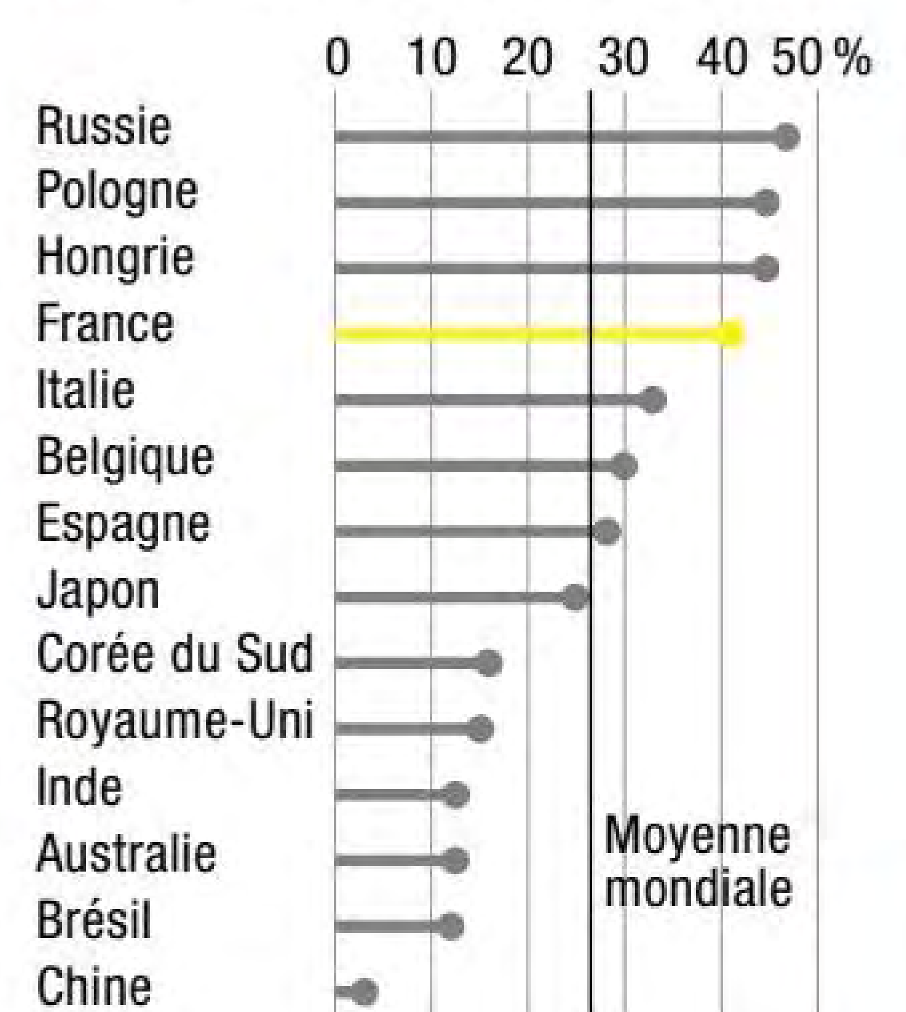
Comment expliquer un tel désaveu ? *"La pandémie de Covid-19*

Un volontaire reçoit un vaccin expérimental dans une clinique de Moscou, septembre 2020.

NATALIA KOLESNIKOVA / AFP - M.KONTENTE

## Une défiance trop forte…

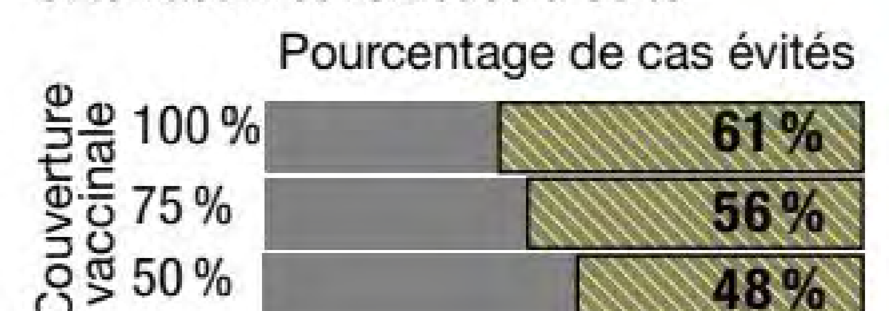
Part de la population réticente à la vaccination contre le Covid-19




## … limiterait le niveau de protection vaccinale

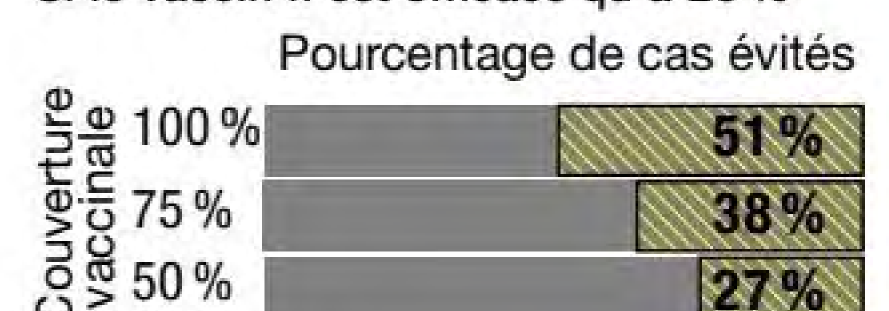
Si le vaccin est efficace à 60 %

Pourcentage de cas évités




Si le vaccin n'est efficace qu'à 20 %

Pourcentage de cas évités




SOURCES : WEFORUM ; BARTSCH ET AL., *AMERICAN JOURNAL OF PREVENTIVE MEDICINE*

*a permis aux mouvements anti-vaccins d'accroître leur influence grâce à un contexte de sidération et des séquences d'errements politiques favorables à l'émergence et à la diffusion de récits complotistes"*, analyse Lucie Guimier, géographe spécialiste des mouvements vaccino-sceptiques. En outre, il est évident que la vitesse inégalée de développement de ces vaccins alimente des craintes quant à la sécurité et l'efficacité de ces produits.

Or, qui dit faible acceptation dit, *in fine*, faible couverture vaccinale. Imaginons que l'on parvienne à trouver ce vaccin idéal qui bloquerait de façon efficace la transmission du virus. Les modélisations indiquent que si moins de 60 % de la population accepte de se faire piquer, il sera impossible d'empêcher l'épidémie de se propager.

*"En réalité, l'objectif d'intervenir sur la dynamique de la pandémie paraît assez peu probable"*, commente Daniel Floret, du comité technique des vaccinations de la Haute Autorité de santé. Il apparaît dès lors beaucoup plus raisonnable de →

→ viser un autre objectif : réduire le risque de forme grave. Donc privilégier les vaccins qui agissent sur la gravité de la maladie *(voir p. 68)*.

Toutefois, même dans cette optique-là, reste encore à convaincre les personnes cibles : les plus de 65 ans, leur entourage, les professionnels de santé… *"Si on fonctionne avec les mêmes outils et les mêmes messages que ceux qui ont prévalu jusqu'à présent, nous n'y arriverons pas"*, prévient Daniel Floret. En 2009, seuls 8 % des Français s'étaient fait vacciner contre la pandémie de grippe H1N1.

Une solution serait de rendre le vaccin obligatoire. Pour l'heure, la France ne s'est pas prononcée sur le sujet. Trop tôt, répond l'Élysée. *"La question se posera sans doute si l'on a un vaccin très efficace, qui bloque la transmission et que la situation pandémique est active"*, analyse Daniel Floret. L'expert précise toutefois que rendre un vaccin obligatoire signifie aussi pour l'État d'endosser la responsabilité en cas d'effets secondaires inattendus. Dans ce cas, l'indemnisation des victimes est intégralement assurée par l'Oniam (Office national d'indemnisation des accidents médicaux, des affections iatrogènes et des infections nosocomiales), au titre de la solidarité nationale.

### CLAUSE D'IRRESPONSABILITÉ POUR LES FABRICANTS

Toutefois, une telle différence juridique entre vaccins obligatoires et vaccins recommandés pourrait ne pas exister dans le cas des vaccins Covid, car les accords d'achats anticipés *"prévoient que les États membres indemnisent le fabricant pour les responsabilités encourues sous certaines conditions"*, a annoncé la Commission européenne. Les conditions précises de ces "clauses d'irresponsabilité" n'ont pas été rendues publiques.

Obligation ou non, il faudra de toute façon que les autorités fassent preuve d'une grande pédagogie. *"Il faut commencer très en amont à réfléchir aux campagnes de communication et prendre en considération l'attitude des populations"*, suggère Patrick Zylberman. Il faudrait aussi éviter de reproduire les mêmes erreurs qu'en 2009, où les médecins et les pédiatres ne pouvaient pas vacciner eux-mêmes leurs patients. Les différents sondages montrent en effet que les Français accordent une grande confiance aux professionnels de santé, en particulier à leur médecin généraliste.

Pour beaucoup, l'une des clés sera la transparence : transparence sur les résultats des essais cliniques, transparence sur les contrats passés entre les industriels et les États, transparence sur les coûts aussi. *"La transparence ne fera pas tout, mais sans elle, il est certain qu'il n'y aura pas d'acceptabilité"*, met en garde Daniel Floret. Et sans ce dernier maillon de la grande chaîne, tout projet de vaccin devient illusoire…

## Et si la solution ne venait pas d'un vaccin ?

Depuis le début de la pandémie, les vaccins focalisent toute l'attention. Plus de la moitié des quelque 9,1 milliards de dollars de financements publics, philanthropiques et industriels dédiés à la lutte contre la pandémie sont absorbés par les vaccins. La recherche de traitements thérapeutiques bénéficie quant à elle de quatre fois moins de financement. *"Les États misent tout sur les vaccins, personne ne souhaite investir dans des alternatives qui pourraient pourtant s'avérer très efficaces"*, regrette Philippe Karoyan. Ce chercheur français au Laboratoire des biomolécules de Sorbonne-Université s'intéresse à des molécules qui pourraient nous protéger du virus : des peptides composés de 27 acides aminés naturels, qui viennent se fixer sur le récepteur du virus – la protéine Spike –, l'empêchant ainsi d'interagir avec nos cellules. *"Nos travaux* in vitro *montrent que nous parvenons à bloquer le processus infectieux de façon très efficace sur les cellules pulmonaires humaines et sans observer aucune toxicité à 150 fois la dose active."* L'objectif est donc de formuler le peptide en un spray nasal qui permettrait d'empêcher l'infection dès son point d'entrée. Et puisque ces peptides n'interagissent pas avec les cellules humaines mais uniquement de façon mécanique avec le virus, ce procédé pourrait être proposé en tant que dispositif médical, permettant d'accélérer le développement. À côté de cette approche, 350 molécules thérapeutiques sont actuellement développées dans le monde : antiviraux, anti-inflammatoires, anticorps monoclonaux, etc., dont une cinquantaine déjà en phase 3 d'essai clinique. *"Pour les molécules thérapeutiques, les essais cliniques sont moins lourds que pour les vaccins : il faut moins de volontaires et les preuves d'efficacité sont plus faciles à obtenir"*, commente l'immunologiste Philippe Kourilsky, ancien directeur de l'Institut Pasteur. Bref, les solutions ne viendront peut-être pas que des vaccins.

# ABONNEZ-VOUS À SCIENCE&VIE

## ET PROFITEZ DE TOUS VOS PRIVILÈGES ABONNÉS

1 numéro par mois




+

L'accès illimité au site internet et à l'appli Science&Vie

- Consultez 10 ans d'archives
- Retrouvez le magazine et ses hors-série en version numérique
- Écoutez les podcasts de nos journalistes
- Et accédez à d'autres contenus exclusifs…



Pour y accéder, je dois indiquer IMPÉRATIVEMENT mon adresse e-mail.

**L'offre Liberté sans hors-série**

**3€90** /mois seulement au lieu de ~~6€42~~*

SANS ENGAGEMENT

**-39%** de réduction

---

**BULLETIN D'ABONNEMENT**
à retourner sous enveloppe affranchie à : Service abonnements Science&Vie - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9

Kiosque Mag — Disponible sur kiosquemag.com

SV1238-B

**1 Je choisis mon offre d'abonnement et mon mode de paiement :**

**LA MEILLEURE OFFRE** **-39%**

☐ **L'offre Liberté sans hors-série :**
**Science&Vie chaque mois**
**+ l'accès au site +** pour **3,90€ par mois**
au lieu de ~~6,42€~~*. [1249572]

Résiliable à tout moment sans frais. Tarif garanti 1 an, après il sera de 4,30€ par mois.

Je complète l'IBAN à l'aide de mon RIB et je n'oublie pas de **joindre mon RIB**.

IBAN :

Vous autorisez Reworld Media Magazines, société éditrice de Science&Vie à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Reworld Media Magazines. Créancier : Reworld Media Magazines 40 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux. Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

**L'offre 1 an :** **-31%**

☐ **Intégrale sans HS : 1 an – 12 numéros**
**+ l'accès au site pour 52,90€** au lieu de ~~77,04€~~*. [1249580]

☐ **Par chèque bancaire** à l'ordre de Science&Vie

☐ **Par carte bancaire :**

Expire fin : / Cryptogramme :

**2 J'indique les coordonnées du bénéficiaire de l'abonnement :**

Nom** : Prénom** :

Adresse postale** :

CP** : Ville** :

Date de naissance : (pour fêter son anniversaire)

Tél. (de préférence portable) : (Pour envoyer un SMS en cas de problème de livraison)

Email :

(Pour gérer l'abonnement, accéder aux services numériques et recevoir nos offres promotionnelles. L'adresse e-mail ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs)

**Dater et signer obligatoirement :**

À :

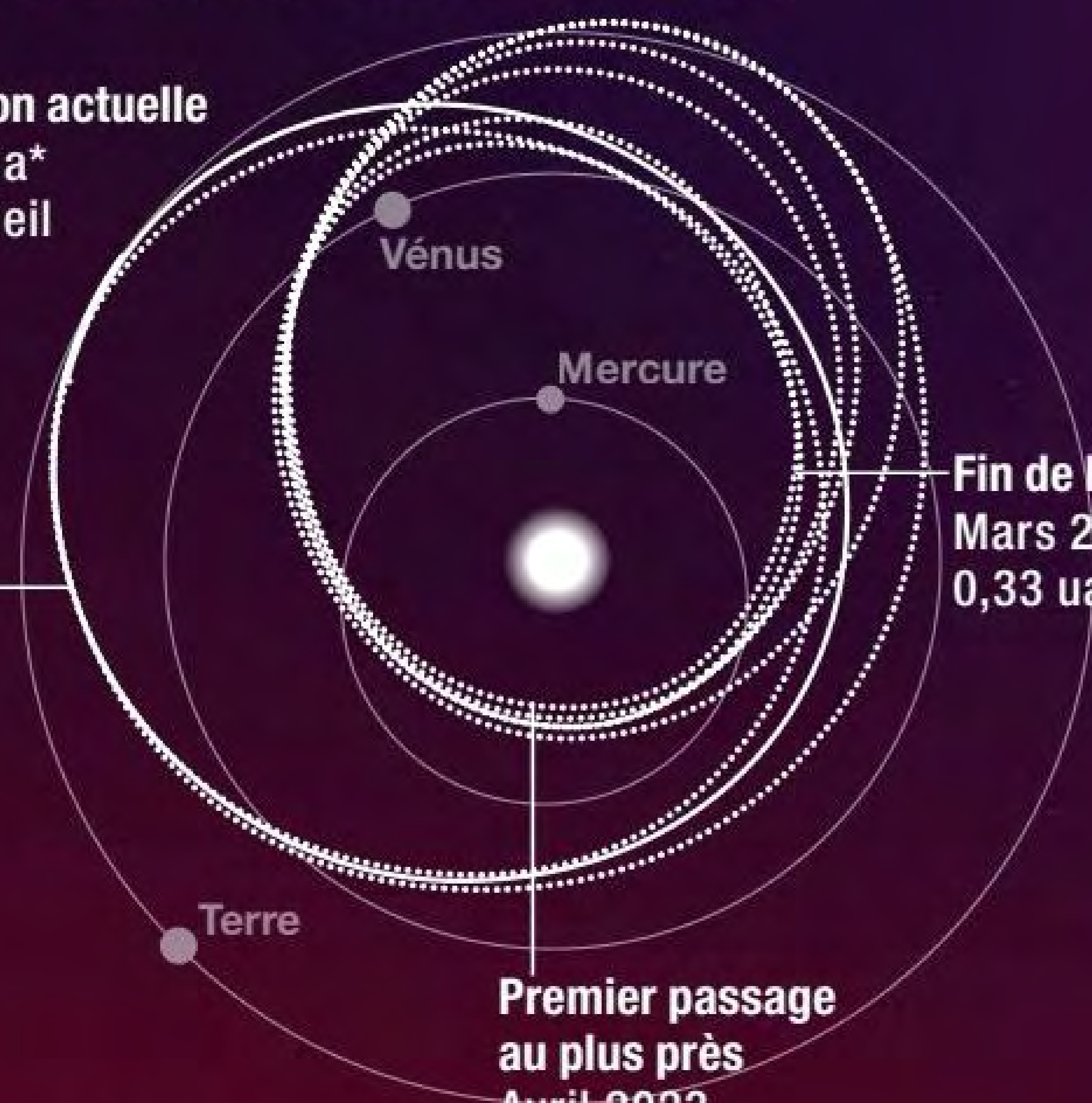
Date : / /

Signature :

*Le prix de référence à l'année se compose du prix kiosque (54€), des frais de port (5.64€), du site internet (17.40€) ** À remplir obligatoirement. Offre réservée en France Métropolitaine valable jusqu'au 31/12/2020. DOM-TOM et autres pays nous consulter. Le produit vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement et dans la limite des stocks disponibles. Vous disposez, conformément à l'article L 221-18 du code de la consommation, d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnement. Le coût du renvoi de(s) produit(s) est à votre charge. Responsable de traitement des données personnelles : Reworld Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reworld Media-DPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand, 92220 Bagneux ou par mail à dpd@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr. Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur kiosquemag.com.



## 19 survols du Soleil en 9 ans



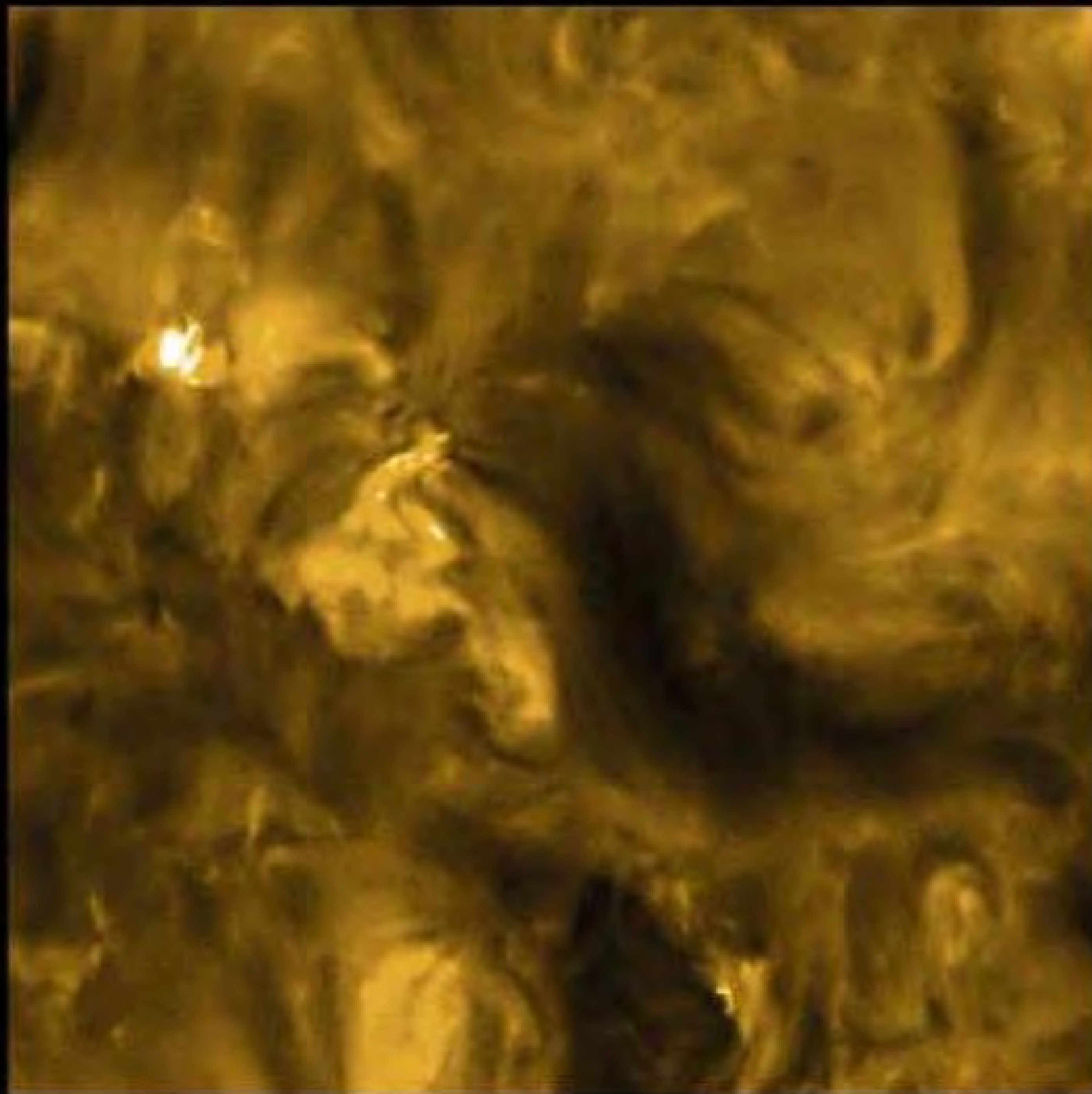

*ua : unité astronomique

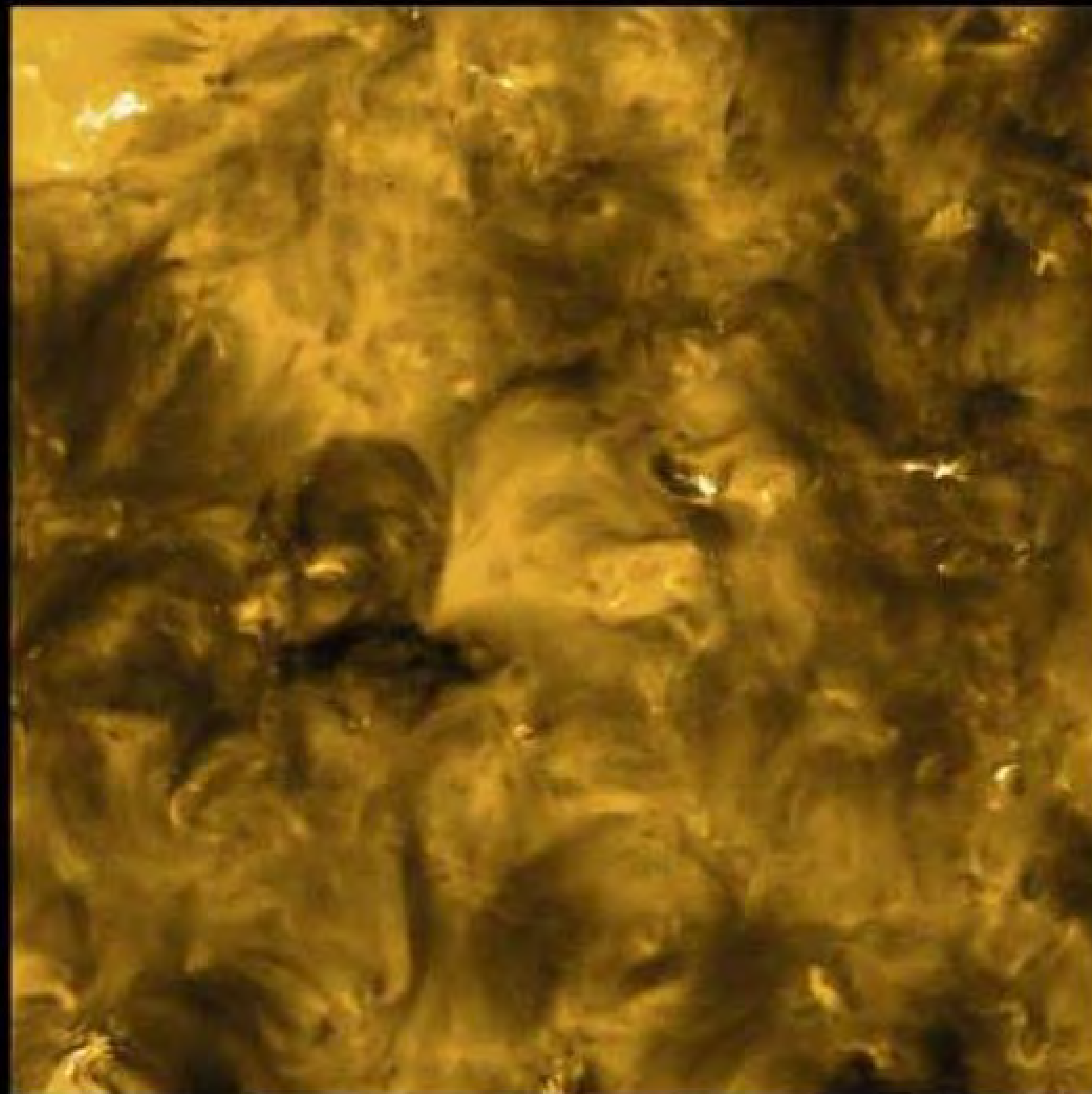
SOLAR ORBITER

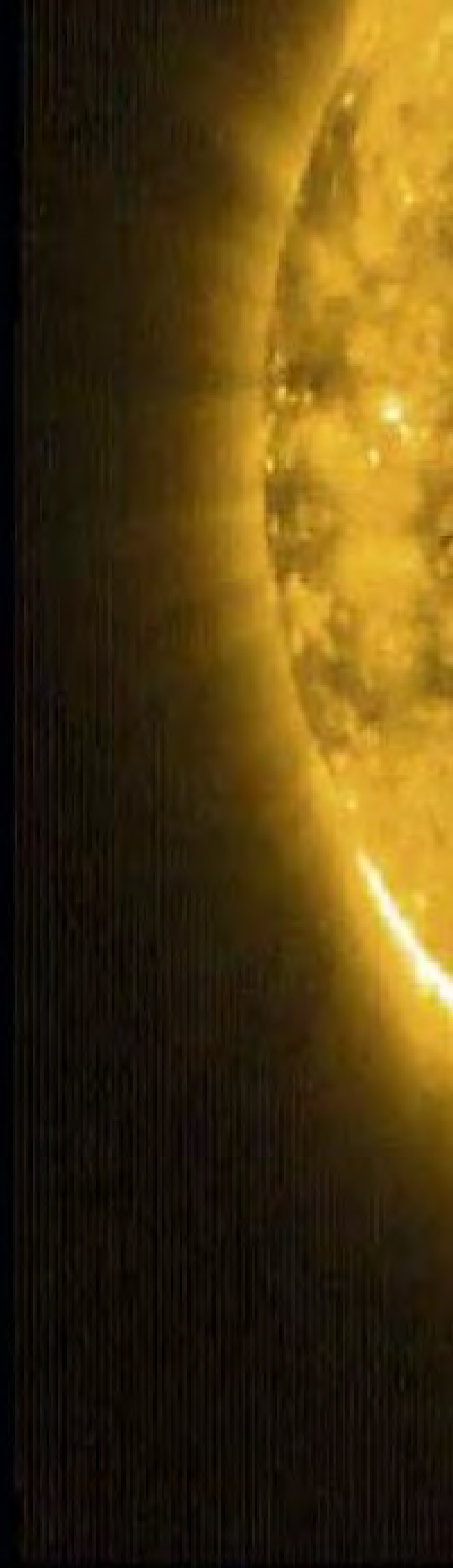
# LE SOLEIL COMME ON NE L'A JAMAIS VU

Plus près qu'aucune autre caméra avant elle ! En juin dernier, la sonde Solar Orbiter a braqué ses viseurs sur le Soleil, capturant d'époustouflantes images de sa fournaise bouillonnante. Et ce n'est qu'un début, assure **Benoît Rey** ! L'espoir de percer bientôt les mystères de la couronne solaire.

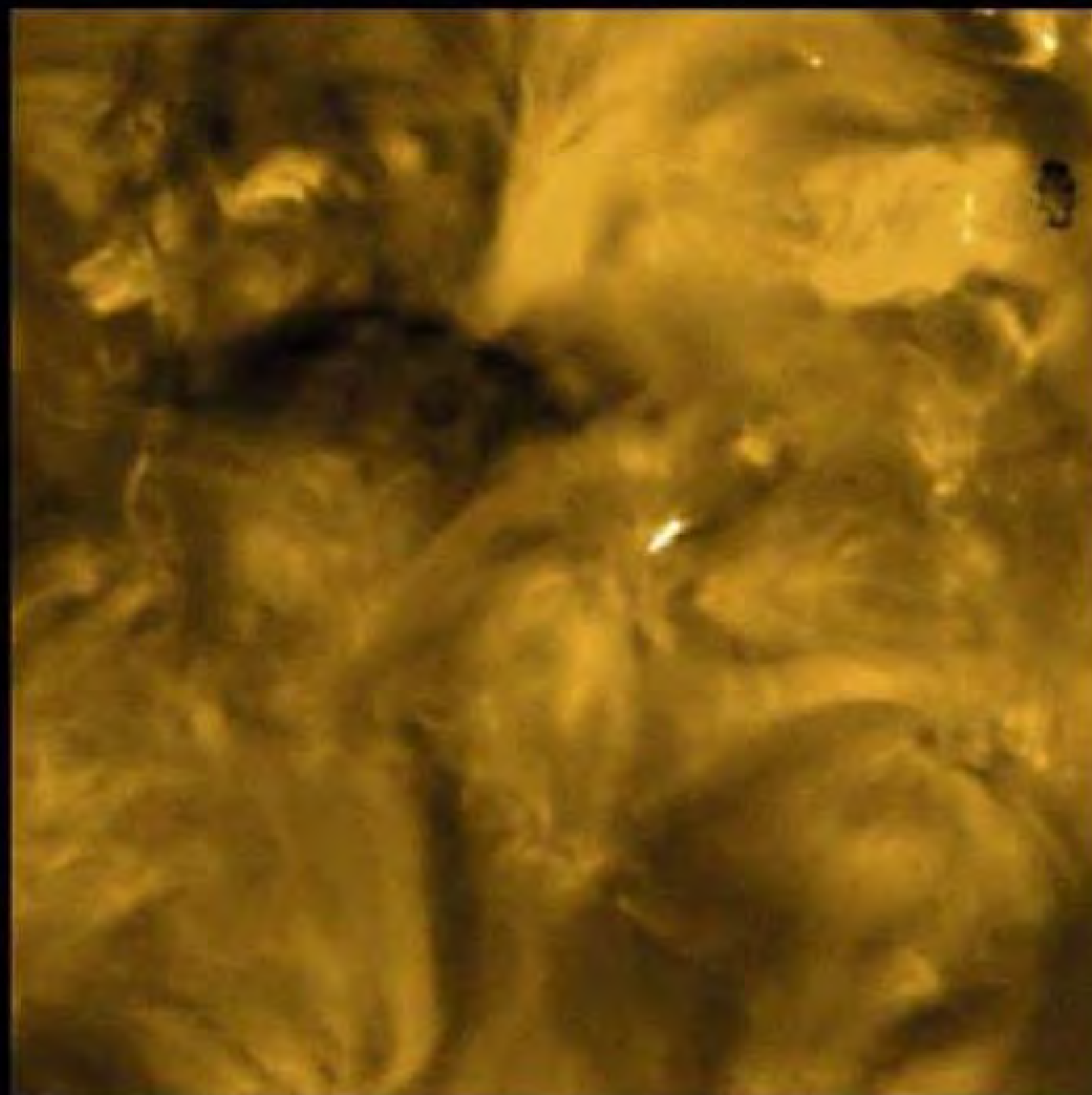
ESA/ATG MEDIALAB - M.KONTENTE

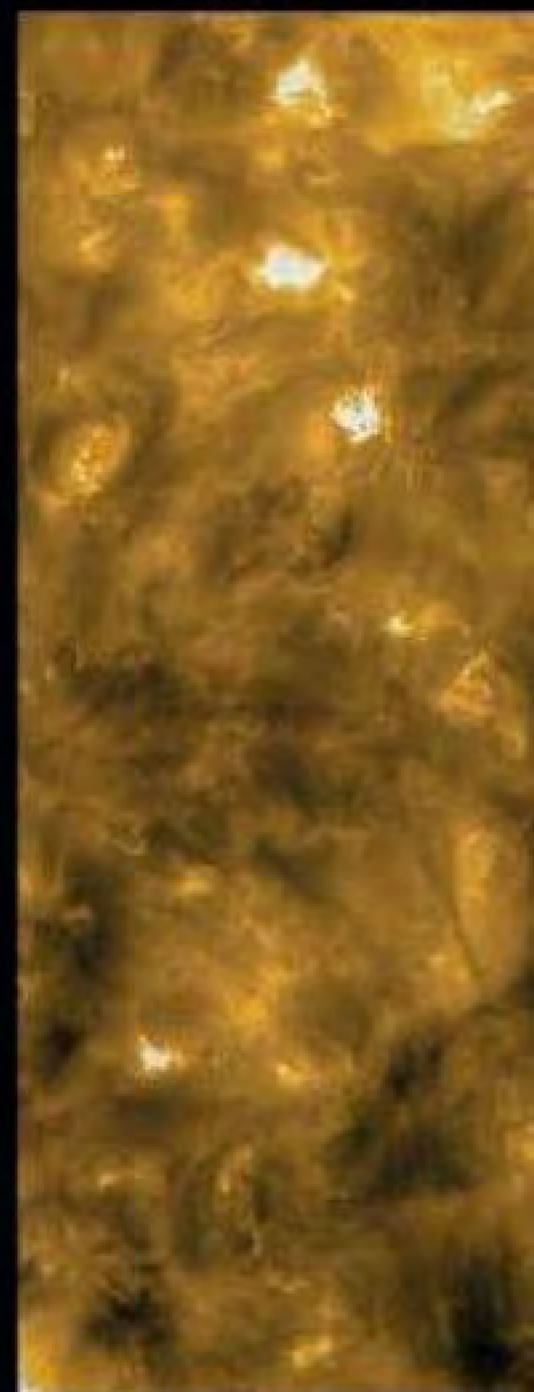


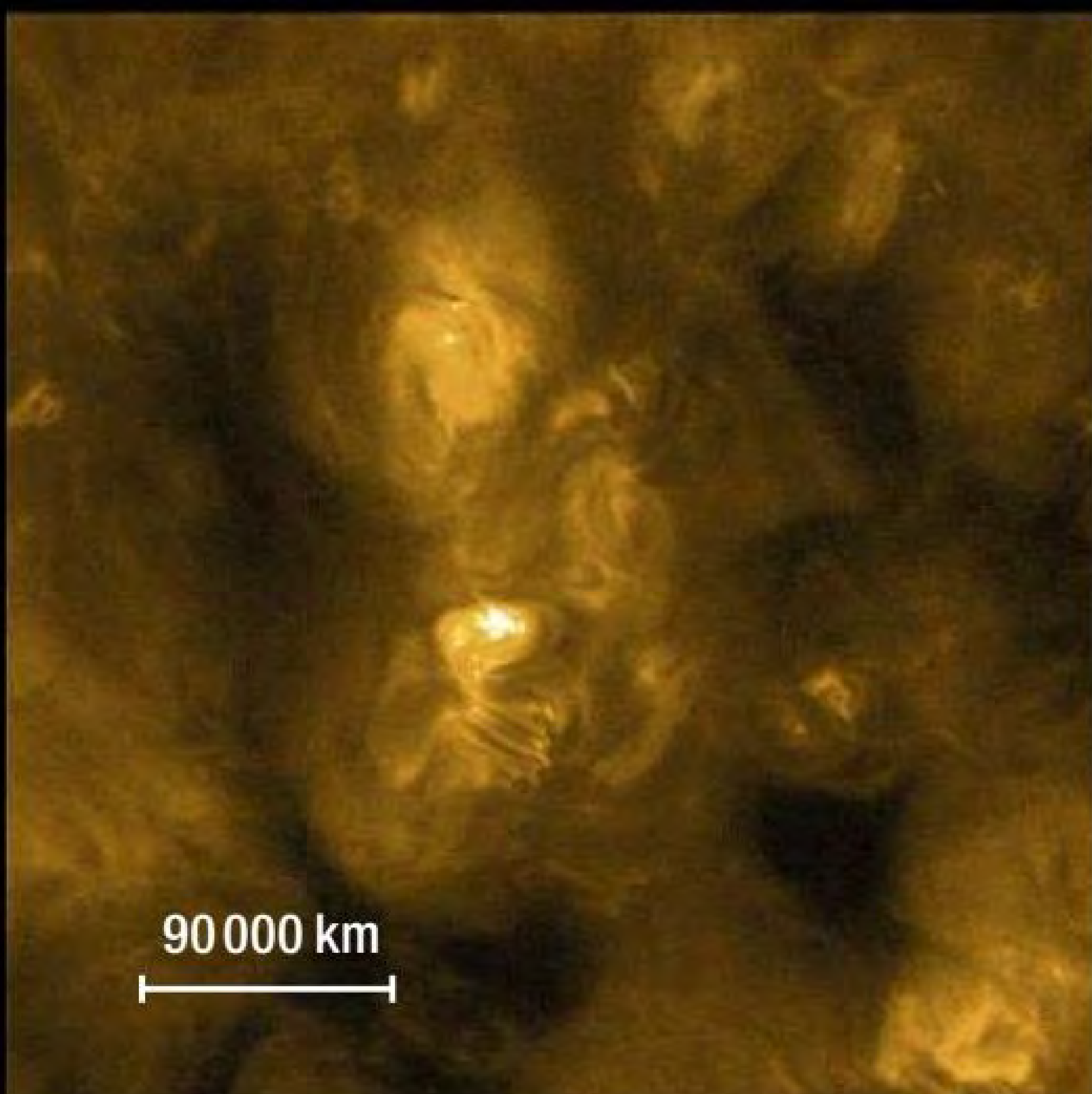


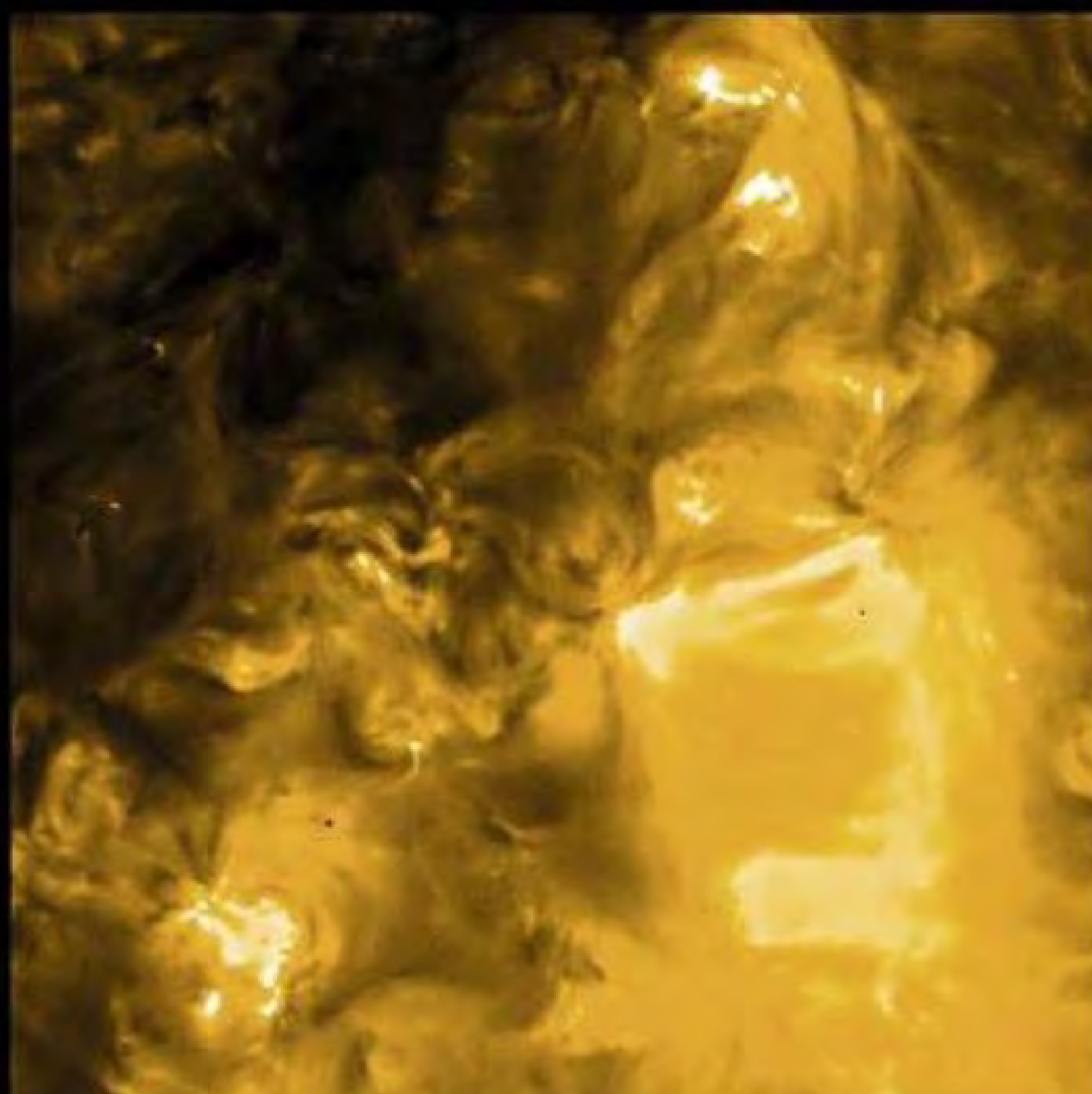


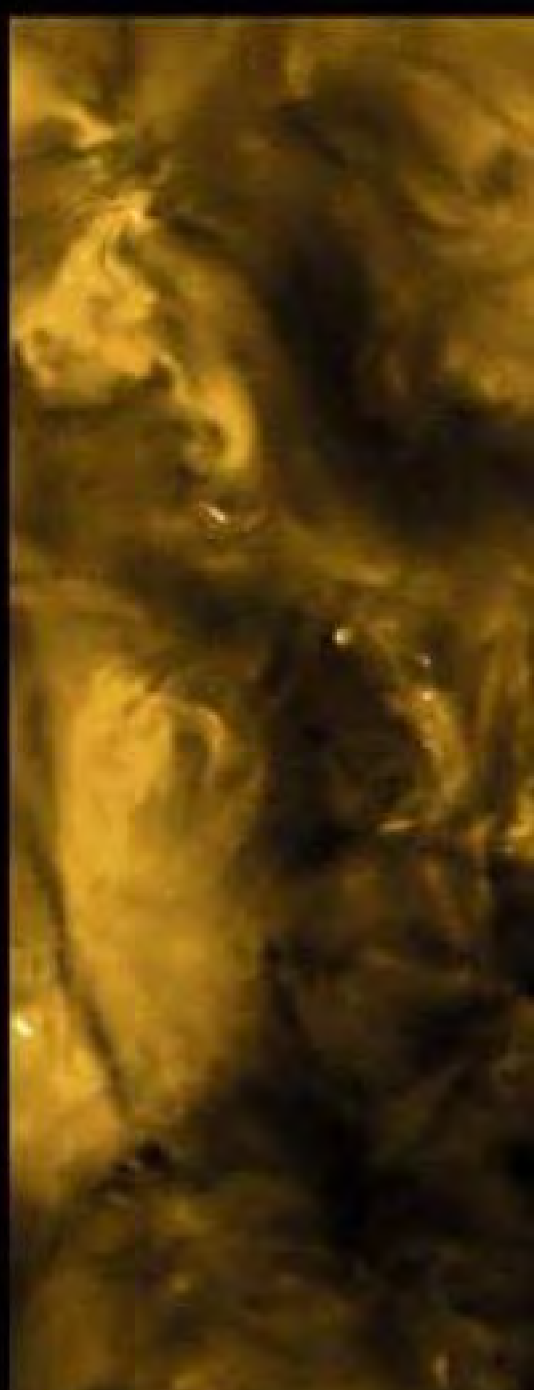






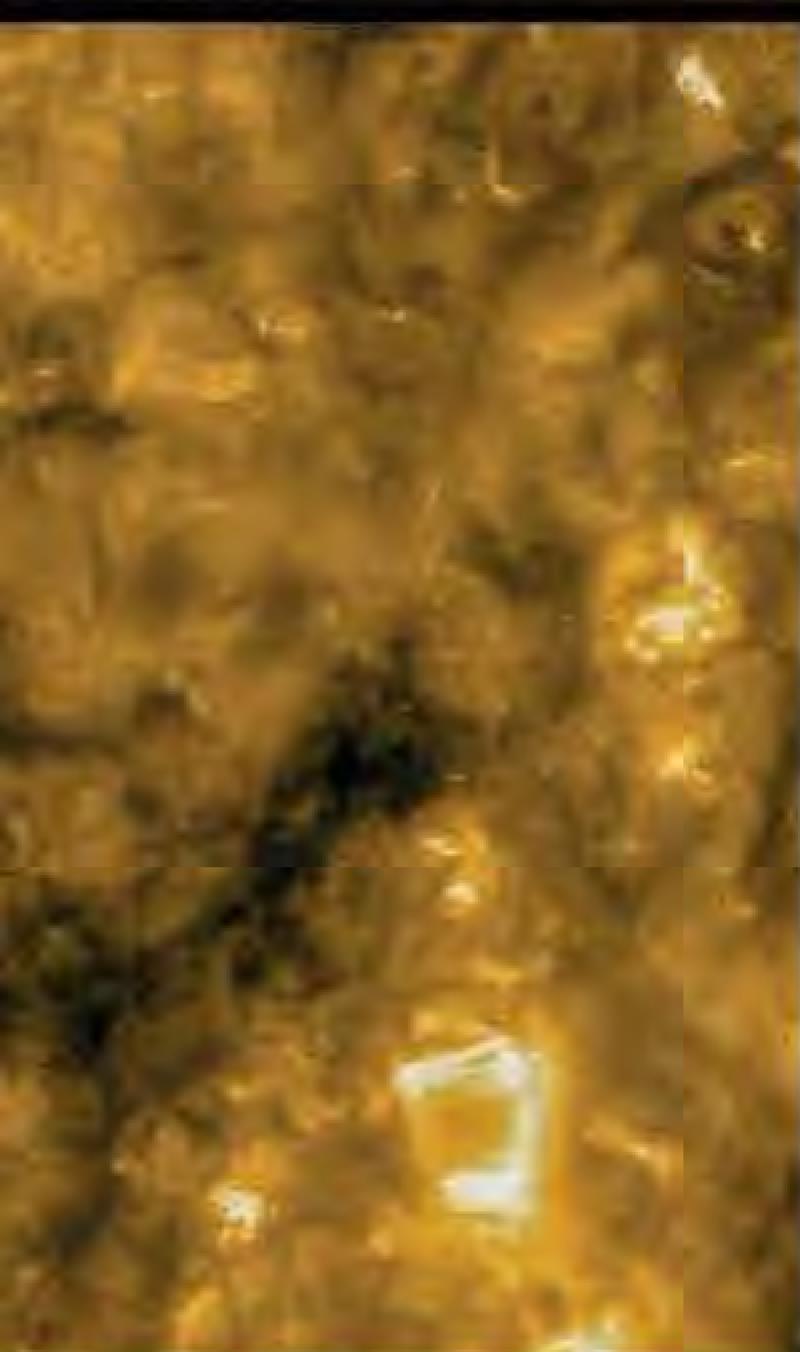


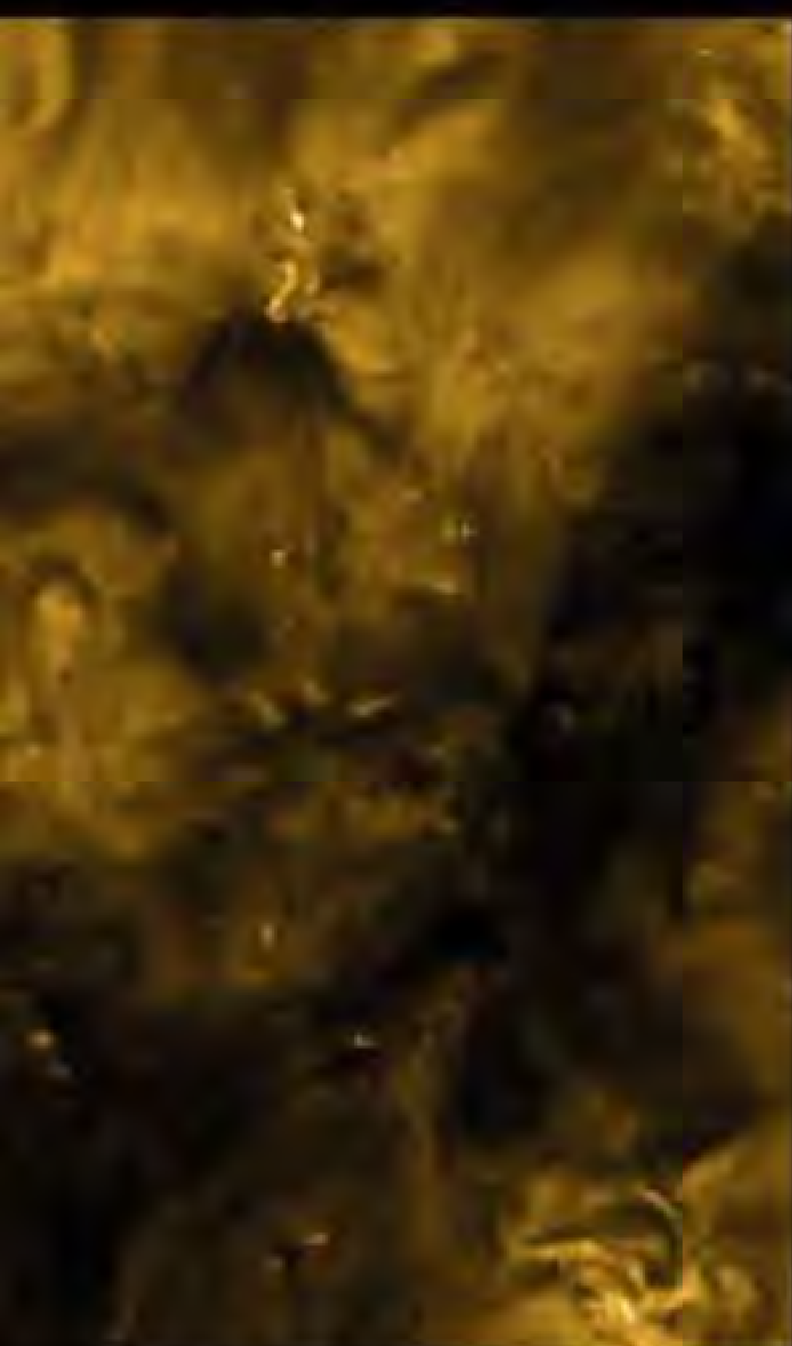





SOLAR ORBITER/EUI TEAM/ ESA & NASA; CSL, IAS, MPS, PMOD/WRC, ROB, UCL/MSSL







# DES NANO-ÉRUPTIONS QUI JAILLISSENT PARTOUT

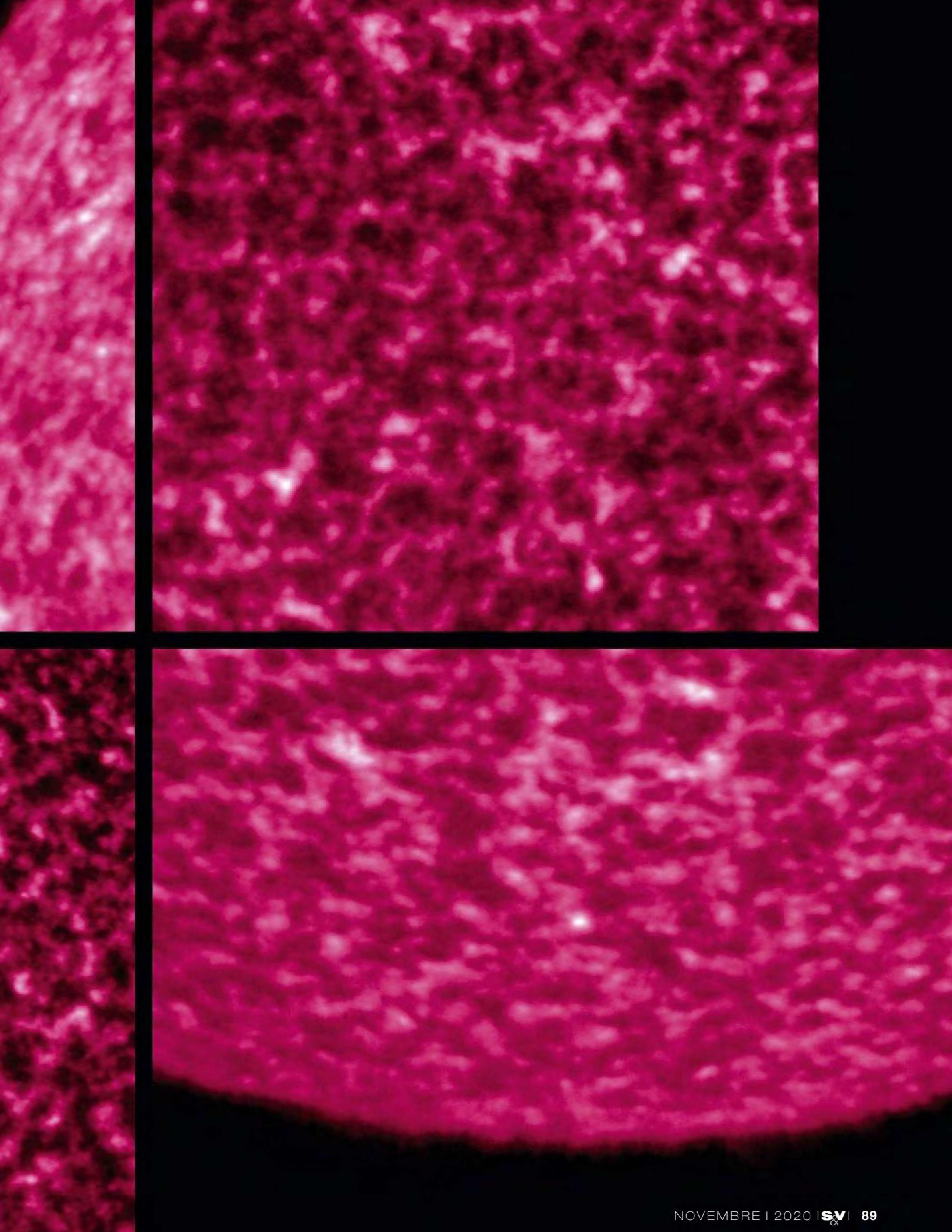
Une myriade de petites fontaines d'énergie sont apparues, dès les premières images prises, en mai dernier, par Solar Orbiter. Des jaillissements de plasma de quelques centaines de kilomètres de hauteur… minuscules à l'échelle du Soleil. *"C'est la grande surprise de cette première moisson d'images,* explique Frédéric Auchère, l'un des membres de la mission. *Ce sont des éruptions solaires, comme celles qu'on observe depuis la Terre, mais des centaines de fois plus petites."* Ces "nano-éruptions", les astrophysiciens soupçonnaient déjà leur présence, ne serait-ce que parce qu'il leur faut un mécanisme de transfert de chaleur expliquant la température extrême –2 millions de degrés– de la couronne solaire. Grâce à la résolution de la caméra EUI/HRI de Solar Orbiter, deux fois meilleure que celles des précédentes sondes, elles apparaissent enfin. Elles sont des millions de fois moins énergétiques que les éruptions standard et ne durent que quelques secondes. *"Mais nous savons désormais qu'elles naissent partout et tout le temps, nous allons donc calculer si elles sont capables, à elles seules, de chauffer la couronne,* détaille le chercheur. *Et chercher des éruptions encore plus petites, et potentiellement encore plus nombreuses, à mesure que la sonde s'approche du Soleil."*

# UNE PLONGÉE JUSQU'AUX RACINES DE SA COURONNE

**Nous sommes ici dans la chromosphère du Soleil, à 2000 km au-dessus de sa surface. Une strate qui n'est visible qu'en ultraviolets, convertis en rose à partir des images de l'instrument Extreme Ultraviolet Imager (EUI) de Solar Orbiter. Ici, il fait 10000 °C, c'est l'altitude limite à laquelle la température est encore… "acceptable", juste avant qu'elle ne commence à flamber : 2000 km audessus, elle est déjà à 1 million de degrés ! *"On sait que les différentes couches de l'atmosphère solaire sont connectées les unes aux autres,* explique Frédéric Auchère. *Ce qu'on cherche à voir dans cette longueur d'onde, ce sont les transferts d'énergie entre les basses couches et les strates supérieures."* Et notamment la racine des fameuses nanoéruptions *(lire page précédente)*, afin d'estimer précisément la quantité d'énergie qu'elles transportent. *"Hélas, nous avons eu du mal à régler ce canal, car les conditions en vol ne sont pas exactement les mêmes que lors des essais au sol. Il faudra attendre pour des images à pleine résolution."***

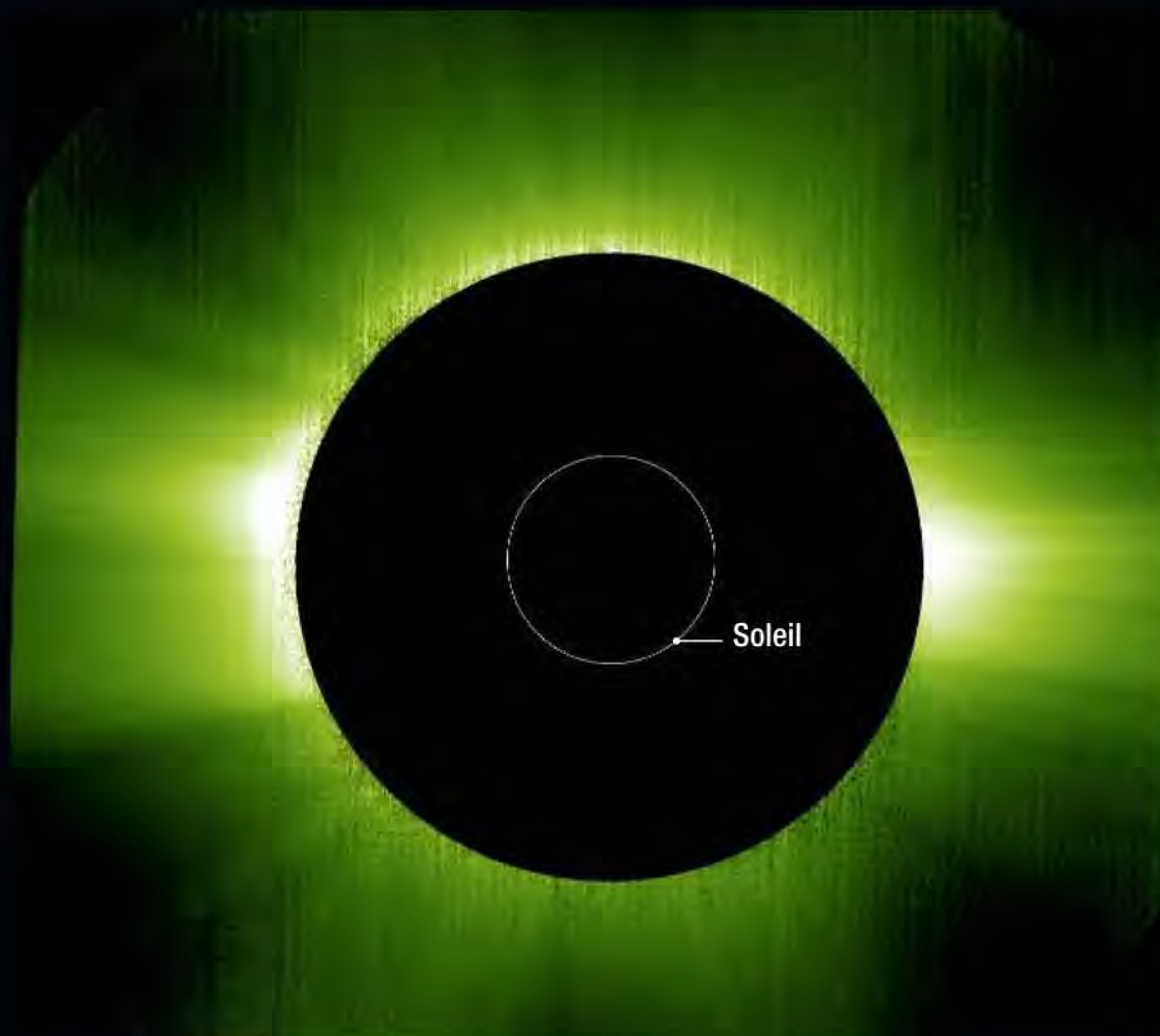
40000 km

SOLAR ORBITER/EUI TEAM/ ESA & NASA; CSL, IAS, MPS, PMOD/WRC, ROB, UCL/MSSL



# LE VENT SOLAIRE SAISI DANS SA COURSE

Et voici la couronne solaire dans toute sa splendeur. C'est l'atmosphère du Soleil chargée en protons et en électrons, chauffés à près de 2 millions de degrés, qui s'échappe dans l'espace. En lumière visible, elle brille des millions de fois moins que le Soleil lui-même, aussi le coronographe METIS est-il équipé d'un masque qui occulte l'astre pour la faire apparaître. Celle-ci est actuellement plus dense à l'équateur qu'aux pôles, ce qui est caractéristique des minima d'activité magnétique du cycle solaire. C'est pourtant les pôles qui intéressent particulièrement les scientifiques, car c'est de là que sont émis les vents solaires dits "rapides", accélérés à 800 km/s… sans qu'ils comprennent vraiment pourquoi. Le découvrir est un des objectifs principaux de Solar Orbiter: la sonde va peu à peu se décaler du plan de l'écliptique pour photographier –pour la première fois– les pôles de notre étoile! Entre-temps, l'activité magnétique devrait augmenter, les éruptions solaires s'intensifier et se multiplier. Le spectacle promet d'être grandiose.

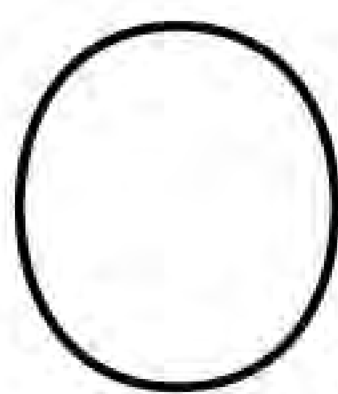



SOLAR ORBITER/METIS TEAM/ ESA & NASA - SOLAR ORBITER/PHI TEAM/ESA & NASA

# SES TURBULENCES MAGNÉTIQUES CARTOGRAPHIÉES

Voici la carte magnétique de notre étoile. Prise le 18 juin dernier, elle représente les lignes de champ qui plongent sous la surface, en bleu, et en ressortent en rouge. *"Hormis la zone en bas, à droite, on constate que le Soleil est plutôt calme en ce moment. Il est au minimum d'activité de son cycle de onze ans,* commente Frédéric Auchère. Pour mesurer le champ magnétique, l'instrument PHI utilise une technique classique, déjà utilisée par les télescopes terrestres, l'effet Zeeman : lorsque la matière est plongée dans un champ magnétique intense, la lumière qu'elle émet se modifie. Mais grâce à sa proximité inédite à notre étoile, on détaille ici *(image du bas)* ses remous magnétiques avec une précision inégalée : des taches magnétiques de seulement 1 000 km apparaissent. Grâce à cette résolution record, l'instrument révèle enfin la genèse des ondes d'Alfvén. Ces ondes, qui n'existent que dans les plasmas, pourraient elles aussi participer au chauffage de la couronne solaire, en lui communiquant leur énergie.

40 000 km



On a beau faire des tests draconiens, quand on construit une machine aussi complexe on a toujours l'impression que quelque chose va aller de travers… mais pas cette fois !" Frédéric Auchère est soulagé, jusqu'ici la mission européenne Solar Orbiter, à laquelle il participe, est un succès total. En juin dernier, quatre mois après son lancement, la sonde à 1,4 milliard d'euros est devenue l'appareil photo le plus proche du Soleil, juste à mi-chemin entre notre étoile et la Terre.

*"Cette période était particulièrement stressante, car nous avons dû étalonner les instruments en pleine crise du coronavirus,* raconte Yannis Zouganelis, le responsable scientifique adjoint de la mission. *Les centres d'opération de l'ESA étaient fermés, nous avons pratiquement tout fait chacun chez soi, éparpillés dans toute l'Europe et les États-Unis. C'est la première fois dans l'histoire de l'exploration spatiale que les phases critiques d'une mission aussi complexe sont effectuées dans ces conditions !"* Malgré cela, la sonde a dépassé tous les espoirs. Elle produit déjà des images : bouillonnements de plasma, soubresauts magnétiques, turbulences atmosphériques… Le Soleil se dévoile avec des détails encore jamais atteints. *"Ces images ont été prises pendant la phase dite de 'recette en vol', elles étaient essentiellement destinées à tester les fonctionnalités des instruments dans les conditions extrêmes, pas dans un but scientifique,* raconte Frédéric Auchère. *Et pourtant, on peut déjà en tirer des résultats !"*

Pas le choix, il fallait aller y voir, et donc s'approcher au plus près du Soleil. Car notre étoile a beau être scrutée en permanence par une trentaine de télescopes disséminés à la surface de la Terre, elle a beau avoir été approchée par une vingtaine de sondes depuis le début de l'aventure spatiale… de nombreux rouages de sa machinerie interne restent incompris. Et son atmosphère – sa couronne – intrigue de plus en plus les spécialistes : *"Elle est des centaines de fois plus chaude que sa surface alors qu'intuitivement, plus on s'éloigne d'une source de chaleur, plus il devrait faire froid"*, décrit Frédéric Auchère. Et on ne comprend pas non plus comment les vents solaires sont accélérés depuis les pôles à des vitesses vertigineuses – jusqu'à 800 km/s ! *"Depuis la Terre, on a du mal à observer les pôles du Soleil car on ne les voit pas sous le bon angle,* regrette Frédéric Auchère. *On les voit en incidence rasante, ce qui nous empêche de faire des cartes de vitesse des vents par effet Doppler."*

B.BOURGEOIS

## L'ATMOSPHÈRE FRISE LES 2 MILLIONS DE DEGRÉS

Mais s'approcher pour photographier un astre dont l'atmosphère frise les 2 millions de degrés est un défi. Même protégée par un bouclier thermique inédit *(voir infographie ci-contre)*, la sonde restera à une distance de sécurité minimale de 0,28 fois la distance Soleil-Terre, soit 42 millions de kilomètres. C'est presque trois fois plus loin du Soleil que la position actuelle de la sonde Solar Parker Probe de la Nasa, lancée en 2018, qui ne transporte, elle, aucune caméra. *"Parker Solar Probe est à Solar Orbiter ce qu'est la Ferrari à la Rolls-Royce : plus rapide et sous certains aspects plus excitante… mais Solar Orbiter est bien mieux équipée en instruments"*, compare Thierry Dudok de Wit, de l'université d'Orléans, qui participe aux deux missions.

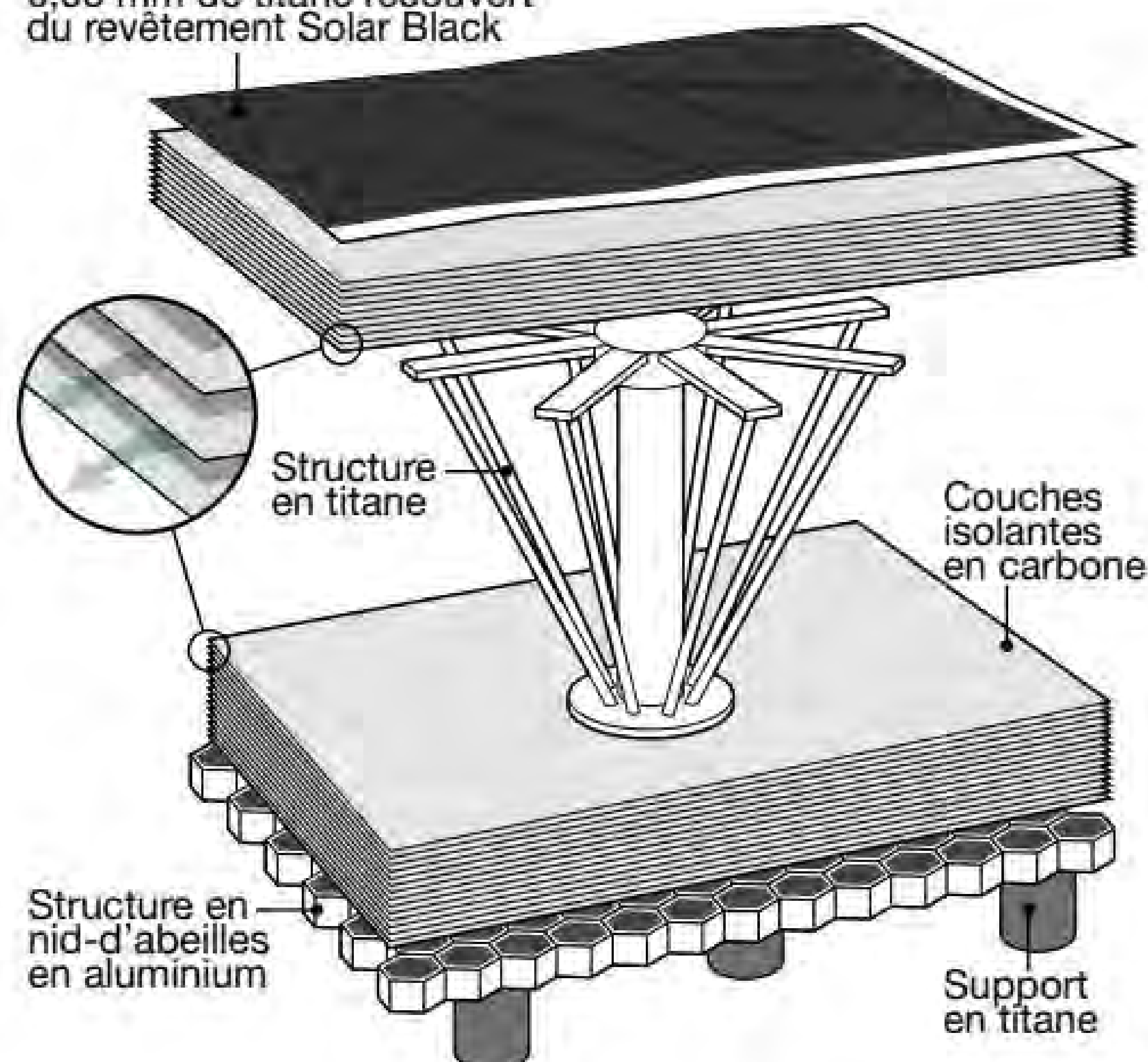
Quatre de ses instruments sont des capteurs *in situ*, c'est-à-dire chargés d'étudier l'environnement direct dans lequel évolue la sonde, pour mesurer le champ magnétique local, la nature des particules qui la frappent… Six sont des caméras haute définition sensibles à diverses longueurs d'onde, des ondes radio aux rayons X, en passant par les infrarouges, les UV et la lumière visible. Elles capteront, au plus près du Soleil, des images à la résolution de 100 km pour chaque pixel, sachant que notre étoile mesure 109 fois le diamètre de la Terre, soit 1,3927 million de kilomètres ! Arrivée à mi-chemin, la sonde a déjà atteint 175 km de résolution. Elle a découvert des nano-éruptions à la surface de l'étoile, détaillé la limite de son

## Photographier le Soleil : un défi thermique

Lors de ses passages au plus près du Soleil, Solar Orbiter recevra 13 fois plus de rayonnement qu'au niveau de l'orbite terrestre et sa température grimpera à 520 °C : une chaleur redoutable pour les caméras… qu'il a donc fallu protéger.

**Un bouclier qui détourne le rayonnement**

Les ingénieurs de l'ESA ont conçu un bouclier de 40 cm d'épaisseur revêtu de Solar Black, un enrobage à base de phosphate de calcium qui absorbe le rayonnement et l'évacue sur les côtés.




**Un mille-feuille isolant plein de vide**

Le meilleur isolant thermique, c'est le vide. Le bouclier prend donc la forme d'un double mille-feuille : 18 feuilles de titane, 24,5 cm de vide, puis 28 feuilles de carbone isolent les instruments.

**Des clapets qui s'ouvrent au compte-gouttes**

Pour les caméras, des orifices ont été percés dans le bouclier, et obstrués de clapets qui s'ouvrent pendant les phases d'observation (de dix jours maximum).

atmosphère, dévoilé la structure du vent solaire, ses bouillonnements magnétiques *(lire pages précédentes)*. *"Les images peuvent être encore grandement améliorées en faisant des ajustements de mise au point,* promet Thierry Appourchaux, de l'Institut d'astrophysique spatiale, université Paris-Saclay, qui a participé à la conception de l'instrument PHI, chargé de cartographier le champ magnétique solaire.

Surtout, la sonde s'offrira dans quelques années un point de vue inédit : profitant de survols rapprochés de la planète Vénus, elle va se décaler progressivement du plan de l'écliptique jusqu'à photographier les pôles solaires – ce qui, curieusement, n'a encore jamais été fait ! La sonde Ulysses était bien allée voir les pôles dans les années 1990, mais la Nasa, chargée de la partie imagerie, s'était retirée inopinément du projet. *"Les pôles sont un point aveugle de la physique solaire,* pointe Thierry Appourchaux. *Il est grand temps de pallier ce manque !"* Pourquoi la surface et la couronne solaires tournent-elles à des rythmes différents ? Comment le magnétisme est-il généré ? Peut-on prévoir son évolution ? Les chercheurs le pressentent, les réponses à toutes ces questions se cachent dans les pôles. *"Ce sont des zones inexplorées qui peuvent nous renseigner sur la manière dont le cycle d'activité de 11 ans du Soleil se transforme"*, ajoute Thierry Appourchaux. En effet, lorsque deux cycles solaires se chevauchent, c'est d'abord aux pôles que le champ magnétique du cycle suivant émerge.

*"En fait, tout est lié dans le Soleil,* résume Yannis Zouganelis. *La physique du vent solaire dépend de celle de la couronne, celle des taches solaires de celle du champ magnétique, lui-même dépendant de la structure interne."* Grâce à ses dix instruments, Solar Orbiter explore tous ces aspects, au plus près du Soleil. Les derniers secrets de la machinerie stellaire ne devraient pas lui résister.



À voir : toutes les images de Solar Orbiter sur le site de la mission.

**EN SAVOIR PLUS** *

science-et-vie.com

# Voici l'ultra-photosynthèse !

Ils sont entrés dans les rouages du mécanisme biologique le plus complexe et le plus important du monde vivant et ont réussi l'exploit de démultiplier la formidable capacité des plantes à transformer de la lumière en matière ! **Pauline Fricot** raconte comment les chercheurs sont en train d'ouvrir la voie vers une photosynthèse artificiellement amplifiée.

C'est chose faite : en croisant des plantes et en intervenant sur leurs gènes, les biochimistes sont parvenus à surpasser des milliards d'années de sélection naturelle. Ils ont réussi à pénétrer au cœur du processus biologique le plus important, à l'origine de la plupart de l'énergie et de la matière organique sur Terre : la photosynthèse. Et ils l'ont amélioré. Jusqu'à augmenter de 15 % la biomasse de cultures pour une équipe de l'université de l'Essex ; de 40 %, pour une équipe de l'université de l'Illinois ; et peut-être bientôt de 60 % espèrent des chercheurs de l'Université nationale australienne. Dix ans après son lancement, le projet international RIPE (*Realizing Increased Photosynthetic Efficiency*), auquel participent tous ces laboratoires, aboutit à de premiers résultats concrets.

Trafiquer la photosynthèse ? Cette idée folle a été lancée il y a 20 ans… *"Dans un contexte particulier,* souligne Giovanni Finazzi, chercheur au laboratoire de Physiologie cellulaire et végétale de Grenoble. *Il y a une vingtaine d'années,*



**40%**

de rendement en plus : c'est la prouesse réalisée par une équipe du projet international RIPE, en modifiant l'ADN de ce plant de tabac.

RIPE PROJECT

*les rendements agricoles ont commencé à stagner après avoir déjà connu de nombreuses améliorations. La photosynthèse a été identifiée comme l'étape suivante."*

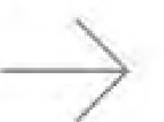
Il faut dire qu'aussi puissant soit-il sur la planète, ce phénomène de conversion de l'énergie du soleil en énergie chimique a un rendement assez médiocre : 5 % de l'énergie solaire seulement est convertie en croissance par la plante ! La marge de progression est donc énorme.

Restait à plonger au cœur de la mécanique et à identifier le processus en lui-même pour pouvoir l'optimiser.

Sur le papier, cela paraît simple : la plante capte du $CO_2$ et de l'eau, les transforme grâce à la lumière en sucre pour se nourrir et croître, tout en libérant de l'oxygène dans l'air. Cette machinerie opère dans un compartiment situé à l'intérieur même du cytoplasme de la cellule de la plante, le chloroplaste. Facile ! Sauf que ce mécanisme s'appuie sur pas moins de 170 processus différents, inclut 2 cycles interdépendants, 3 façons différentes de fixer le carbone et exploiterait même des phénomènes décrits par la mécanique quantique, la science de la matière à l'échelle de l'atome *(voir* S&V *n°1159)*. En réalité, la photosynthèse est l'un des processus les plus ardus de la biologie, un cauchemar de complexité avec lequel se débattent les spécialistes depuis sa découverte au XVIII^e siècle.

## UNE ENZYME CLÉ

La première difficulté a été d'identifier les clés stratégiques qui contrôlent son efficacité. Les équipes impliquées dans le projet RIPE ont donc commencé par simuler tout le processus, des gènes jusqu'à la canopée, reproduisant avec précision les interactions entre les conditions extérieures (température, ensoleillement, précipitations…) et le processus de la photosynthèse, des feuilles jusqu'aux chloroplastes. Ce qui leur a permis d'identifier deux leviers. Le premier concerne les mécanismes liés à la



lumière. La plante n'en utilise qu'une partie, qui est elle-même mal répartie sur les feuilles et se montre peu réactive aux fluctuations du soleil. Le second est une enzyme qui se trouve au cœur même du processus de photosynthèse : RuBisCO. C'est elle qui assimile le carbone capté par la plante et qui le fixe sur un métabolite, RuBP. D'autres enzymes transforment ensuite ce carbone en sucre, permettant à la plante de se développer. Sauf que dans 35 % des cas, plutôt que du carbone, RuBisCO fixe une molécule d'oxygène… ce qui produit des déchets : une flopée de molécules que la plante doit ensuite éliminer ou métaboliser. C'est la photorespiration, un processus particulièrement énergivore.

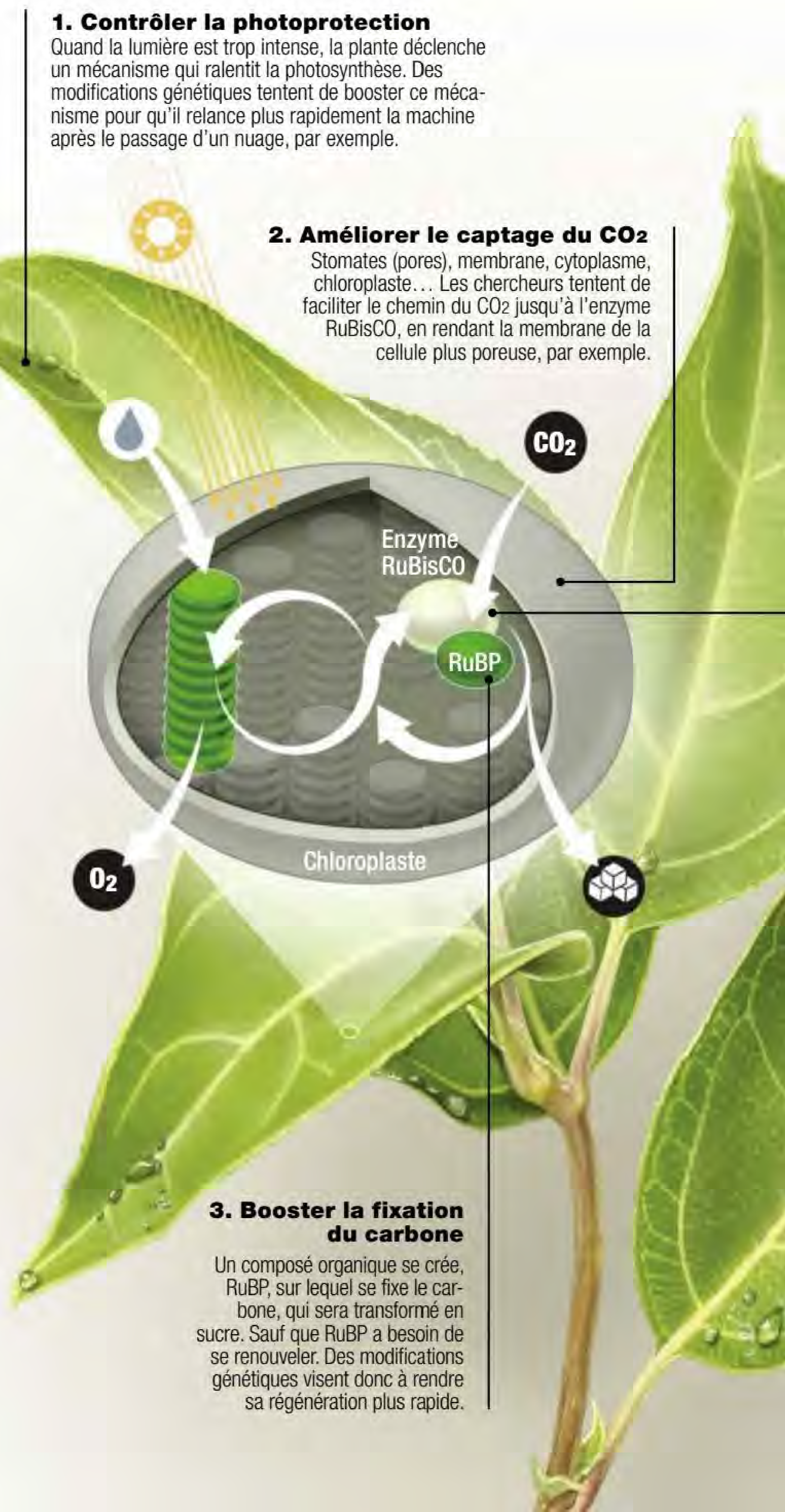
### AU CŒUR DE LA MÉCANIQUE CELLULAIRE

Les équipes ont ensuite cherché un moyen d'agir sur ces deux leviers et ont identifié cinq mécanismes prometteurs *(voir infographie)* : l'optimisation de la canopée ; le relâchement de la protection des plantes contre le soleil ; l'optimisation du passage du $CO_2$ dans les feuilles ; la stimulation de l'enzyme RuBisCO et, enfin, la régénération du métabolite RuBP. Différents groupes de recherche se consacrent à chacun de ces axes, faisant appel à toute la boîte à outils de la biologie végétale – du traditionnel croisement jusqu'aux ciseaux moléculaires CRISPR-Cas9 qui permettent de modifier des gènes localement. Les expériences se concentrent sur une plante en particulier : le tabac, simple et facile à manipuler génétiquement et en plein champ.

C'est ainsi qu'en 2019, les chercheurs de l'université de l'Illinois sont parvenus, grâce à des enzymes extraites d'autres plantes et d'algues vertes, à améliorer l'efficacité de RuBisCO jusqu'à booster de 40 % la photosynthèse. Le principe ? Ils se sont focalisés sur les déchets produits par l'enzyme quand elle fixe par erreur des molécules d'oxygène en lieu et place du dioxyde de carbone, et ont conçu une voie chimique permettant de les neutraliser.

Dans le but d'atteindre déjà la précieuse enzyme RuBisCO et d'optimiser son action, l'équipe de l'Université nationale australienne avait dès 2018 relevé un autre défi. En ayant là encore recours aux qualités des algues. Celles-ci sont en effet dotées d'un organe supplémentaire, le carboxysome, une sorte de microcompartiment bactérien qui permet de drainer

## Photosynthèse : les 5 mécanismes qui sont ciblés




ANYFORMS DESIGN

le carbone. Or, les chercheurs ont réussi à insérer ce carboxysome dans le chloroplaste d'un plan de tabac, au plus près de RuBisCO, lui ouvrant ainsi un accès direct au carbone. *"Un énorme pas en avant pour nous"*, affirme Ben Long, de l'Université nationale australienne. Il a d'abord fallu choisir le bon carboxysome, c'est-à-dire celui avec la séquence génétique la plus petite possible, avant de le recréer sur mesure pour qu'il soit adapté au tabac, et l'introduire ensuite dans la plante par biolistique: le morceau d'ADN a été propulsé à forte pression pour percer la paroi de la cellule et s'insérer dans le chloroplaste, siège de l'enzyme... Un vrai défi mécanique. *"Même après nos manipulations, le carboxysome reste 5 à 6 fois plus gros que ce qui entre normalement dans le chloroplaste!"* s'exclame Dimitri Tolleter, membre du projet RIPE de 2013 à 2018, avec l'université australienne, et aujourd'hui chercheur à l'université d'Angers.

Et l'aventure ne s'arrête pas là: l'équipe tente aujourd'hui d'introduire des pompes synthétiques dans la membrane du chloroplaste pour qu'une concentration plus élevée de dioxyde de carbone atteigne l'enzyme RuBisCO... C'est cette technique qui, selon les calculs des chercheurs, pourrait offrir une augmentation spectaculaire de 60 % du rendement! *"Alors qu'aujourd'hui, c'est déjà le jackpot quand on atteint 5 % de rendement en plus dans les champs!"* sourit Dimitri Tolleter.

**4. Corriger l'enzyme clé de la photosynthèse**

Le levier le plus prometteur: l'enzyme RuBisCO. Elle est essentielle car c'est elle qui fixe le carbone. Mais elle se trompe parfois et fixe de l'oxygène. Les chercheurs tentent soit d'empêcher ces molécules d'oxygène de se fixer, soit de trouver un moyen de les recycler.

**5. Rééquilibrer la canopée**

La photosynthèse opère inégalement sur l'ensemble de la plante: les feuilles du sommet bénéficient de plus de lumière qu'elles ne peuvent en exploiter, et celles du dessous en manquent. L'idée est donc d'éclaircir et redresser vers la tige les feuilles du dessus, et d'assombrir et coucher celles du dessous.

## UNE SUPERPLANTE... DE LABORATOIRE

Sans compter que cet été, la troisième équipe de l'université de l'Essex a, elle, réussi pour la première fois à doper la photosynthèse en stimulant non pas un, mais deux processus simultanément. Elle a ainsi augmenté le rendement de deux espèces de tabac jusqu'à 15 % en agissant à la fois sur la régénération du métabolite RuBP, qui accueille les molécules de carbone, et le transport des électrons dans le chloroplaste, qui permet de faire fonctionner la photosynthèse. Mieux: les chercheurs se sont alors rendu compte que la plante transgénique se mettait aussi à utiliser l'eau beaucoup plus efficacement!

De quoi commencer à rêver à une superplante, qui cumulerait toutes les optimisations. Une ultra-photosynthèse totale, construite brin d'ADN après brin d'ADN dans des dizaines de laboratoires. Même s'il reste encore de nombreux obstacles, car *"plus on transforme une plante, plus on prend le risque de voir apparaître des effets secondaires inattendus"*. Mais Dimitri Tolleter lâche tout de même: *"Oui, une telle superplante n'est pas impossible sur le papier!"*

Reste qu'il faudra encore tester et améliorer la résistance de ces spécimens de laboratoire aux conditions réelles. Car plus elle est modelée pour s'adapter à un milieu bien particulier, moins une plante est résiliente aux aléas environnementaux –qui ne manqueront pas de se multiplier avec le changement climatique. Surtout, il faudra évidemment réussir à passer du plant de laboratoire –le tabac, choisi pour sa simplicité–, à des organismes plus complexes, comme le maïs, destinés à l'alimentation. Sans compter le nécessaire débat éthique et écologique que poserait l'arrivée de ces nouveaux OGM dans les champs... *"Il faudra au moins 15 ans"*, évalue Ben Long.

Mais on le voit, si la plante ultraphotosynthétique est encore loin d'avoir gagné les champs, elle s'épanouit déjà en laboratoires.



À consulter: les principales publications citées dans cet article.

* EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com

# COMMENT LE CHAT NOUS A DOMESTIQUÉS



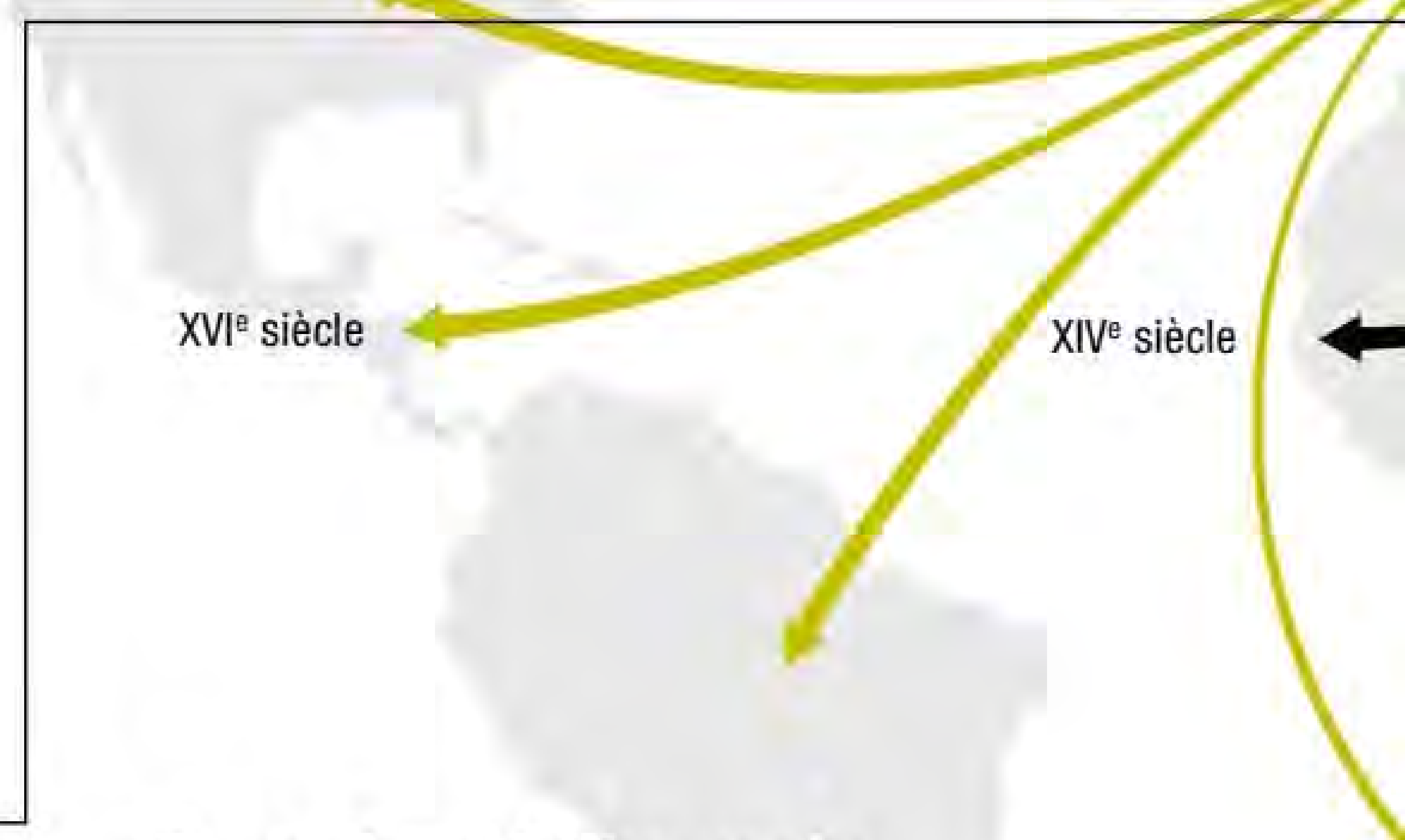
ANDREY SUKHOV/123RF

Alors que l'on pensait que nos félins domestiques avaient déboulé en Europe avec l'invasion romaine, **Anne Debroise** révèle qu'une première lignée, issue du Proche-Orient, était déjà présente au nord du continent au Néolithique. Voilà qui chamboule notre vision de leur relation avec l'humain, qu'ils ont accompagné dans ses migrations jusqu'à conquérir le monde entier.




**7000 av. J.-C. : le chat ganté d'Anatolie s'allie aux premiers agriculteurs**

Cette espèce a accompagné les premiers cultivateurs dans leur migration vers l'Europe. À Chypre, on a même retrouvé un de ses représentants enterré avec un humain *(photo).*




# En suivant l'humain, les chats ont conquis le monde

Ces derniers 10 000 ans, différentes sous-espèces ont fait alliance avec des humains, voyageant avec eux et établissant, parfois, des liens très forts.

Europe du Nord, 4000 ans av. J.-C. À proximité des premiers peuplements humains, des chats rôdent. Pas des représentants des espèces sauvages qui hantent à cette époque les forêts d'Europe, de leur nom savant *Felis silvestris silvestris*… Non, ces félins-là, ceux qui osent s'aventurer près des habitations, qui rompent même leur quiétude de quelques miaulements, arrivent d'Anatolie, en Asie mineure, à plusieurs milliers de kilomètres de là. Ils ont conquis les humains et, avec eux, s'apprêtent à envahir la Terre entière.

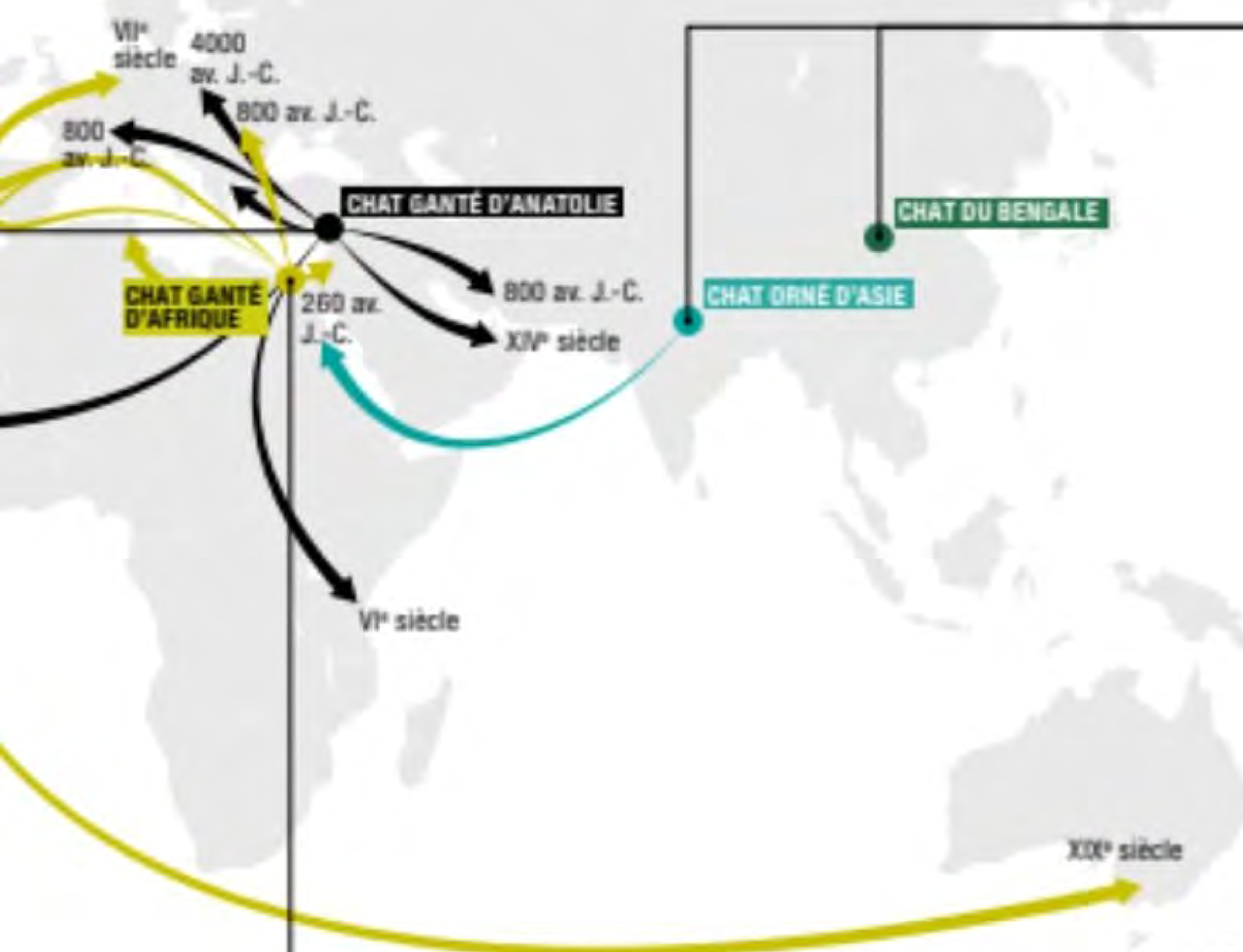
Voici la toute nouvelle histoire du chat domestique, qu'une poignée de scientifiques est en train de complètement réécrire. Car selon le récit traditionnel, c'est une seule variété de chat bien particulière, *Felis silvestris lybica,* originaire d'Afrique du Nord, qui aurait été domestiquée par les Égyptiens, moins de 2000 ans av. J.-C. Les Romains l'auraient ensuite adoptée et transportée en bateau en Europe.

Le problème, dans ce récit, c'est qu'il ne cadre pas avec la récente découverte de l'archéozoologue Magdalena Krajcarz, de l'université Nicolas-Copernic, à Toruń (Pologne) : dans des grottes du haut plateau de Cracovie-Częstochowa, les fossiles de plusieurs félins ont été déterrés. Or, vu leur morphologie, il ne peut s'agir de chats sauvages des forêts : ils appartiennent à une espèce venue du sud de la méditerranée, dite gantée, dont sont issus tous les chats domestiques actuels. Sauf que la datation des os au carbone 14 indique qu'ils auraient été ensevelis entre 4200 ans et 2300 ans av. J.-C., soit des milliers d'années avant que l'espèce n'atteigne cette région, si l'on en croit le récit traditionnel ! Comment ces chats ont-ils pu se retrouver là ?

## EMBARQUÉ SUR DES BATEAUX

*"J'ai d'abord pensé à une erreur de datation",* avoue la chercheuse. Mais les dates se sont révélées exactes. De plus, cette découverte vient confirmer une étude publiée dès 2017 par une équipe de l'Institut Jacques-Monod de Paris, menée par Eva-Maria Geigl, qui a pu *"retracer le déplacement des lignées génétiques des chats sauvages du Proche-Orient",* décrit la chercheuse. Pour cela, l'équipe a séquencé une petite partie du génome de 237 chats du pourtour méditerranéen, ayant vécu entre 9000 ans av. J.-C. et le début du XX[e] siècle. Déjà, une première vague de migration néolithique apparaissait dans ces travaux, notamment au travers de spécimens retrouvés en Roumanie, datés de 4500 ans av. J.-C. et possédant une séquence génétique typique du chat d'Anatolie.

L.DESRAYAUD - CLICHÉ P.GÉRARD. MISSION ARCHÉOLOGIQUE DE SHILLOUROKAMBOS. PR JEAN GUILAINE/COLLÈGE DE FRANCE - HERITAGE-IMAGES/THE MUSEUM OF EAST ASIAN ART/AKG IMAGES - MUSÉE DU LOUVRE PARIS COLL. DAGLI ORTI/AURIMAGES






### 3500 av. J.-C.: le chat du Bengale est brièvement apprivoisé

D'autres sous-espèces ont vécu auprès des humains, comme le montrent des signes de domestication chez le chat du Bengale, en Chine et le chat orné d'Asie. Mais elles ont vite été remplacées par le chat d'Afrique *(ici, une statue de jade de la dynastie Han).*

Source: Ottoni et al., *Nature*, 2017

### 1500 av. J.-C.: le chat ganté d'Afrique fascine l'Égypte

La variante africaine du chat ganté *(ici, momies de la Basse Époque égyptienne)* se répand dans le monde avec l'expansion de l'Empire romain. Tous nos chats domestiques en descendent.



Le doute n'est donc plus permis: la relation entre humains et chats a commencé très tôt. Bien avant l'incroyable viralité de leurs vidéos sur internet, avant que la planète entière ne s'attendrisse face à leurs petites bouilles, au siècle dernier, avant même l'adoration égyptienne du chat, qui prête à la déesse Bastet ses traits indomptables et adorables, ces félins se tenaient déjà au côté des premiers agriculteurs et voyageaient avec eux. Car si ces boules de poils se sont retrouvées à plus de 2000 km de chez elles, c'est que quelque chose les y a poussées. *"Le chat sauvage du Proche-Orient est territorial,* rappelle Magdalena Krajcarz. *Même si les jeunes peuvent bouger en quête de nouveaux espaces."*

Alors, que s'est-il passé? Qu'est-ce qui a bien pu amener les chats à se lier aux humains… à moins que ce ne soit l'inverse? Comment cette relation, l'une des plus singulières que l'homme ait jamais créée avec un animal, a-t-elle débuté? Tout commence alors que l'Europe centrale vit une profonde mutation: la révolution néolithique. Des groupes humains voyagent alors par sauts de puce vers le nord, en quête de terres où pratiquer l'agriculture –apparue vers 9000 av. J.-C. dans le sud de l'Anatolie et le Levant. Selon Eva-Maria Geigl, pour arriver en Europe, *"les chats ont forcément voyagé avec les humains, car ils ne pouvaient pas traverser le détroit du Bosphore, sous l'eau à l'époque".* Ils ont donc embarqué sur des bateaux, emportés par des voyageurs ou attirés par les odeurs de poisson et les souris. Mais étaient-ils déjà les animaux domestiques que l'on connaît?

L'étude polonaise donne quelques réponses. La morphologie du chat domestique actuel est trop proche de celle du chat sauvage du Proche-Orient pour qu'on puisse affirmer, par l'anatomie, si un processus de domestication avait déjà commencé. Reste deux indices: premièrement, les ossements félins ne sont pas systématiquement associés aux restes humains –certains vivaient donc loin des habitations. Deuxièmement, l'analyse isotopique des os donne une idée de leur degré de →

dépendance alimentaire. L'enrichissement des terres agricoles en fumier augmente en effet la teneur en azote lourd des céréales, des animaux qui les consomment et de leurs prédateurs. Si les chats ont été nourris par les humains, ou à partir d'animaux ayant consommé des grains cultivés, cela se lit dans leur squelette.

L'équipe a donc mesuré le taux d'azote lourd du collagène encore présent dans les os des fossiles. Il s'est avéré que les chats du Proche-Orient retrouvés en Pologne présentaient un taux intermédiaire entre celui des chats sauvages européens et celui des humains, ou encore de leurs chiens. *"Les chats étaient probablement opportunistes, se nourrissant à l'occasion de proies sauvages, mais plus souvent de rongeurs infestant les zones agricoles"*, conclut Magdalena Krajcarz.

### ATTIRÉ PAR LA SOURIS

Car quand ils sont arrivés en Europe, les agriculteurs y ont apporté… la souris ! C'est ce que le groupe de Thomas Cucchi, archéozoologue au CNRS et au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), à Paris, montrait dans une étude publiée en mai 2020. En combinant avec des analyses génétiques les datations au radiocarbone de 829 fossiles de souris grises, aussi appelées "domestiques", ayant vécu au Proche-Orient et en Europe au cours des 40 000 dernières années, le chercheur a montré que l'arrivée de la souris coïncidait avec la sédentarisation des premiers agriculteurs, qui pénétrèrent, eux, en Europe de l'Est environ 4600 ans av. J.-C. Selon Thomas Cucchi, *"les souris domestiques, issues d'ancêtres sauvages présents au Proche-Orient, se retrouvent alors dans les maisons des premiers agriculteurs, près des silos à grain et des puits. Il est probable qu'elles les ont suivis dans leur migration à travers l'Europe, attirées par les stocks de grains. Et les chats ont suivi leurs proies"*.

## Une domestication atypique

### Son pelage a varié tardivement

Comme ce chaton, les chats sauvages sont tigrés. Ce n'est qu'aux alentours du X$^{e}$ siècle apr. J.-C. que leur pelage commence à changer, avec l'apparition de taches.

### Sa taille est restée la même

Le chat fait figure d'exception, car la majorité des espèces rapetissent avec la domestication ! Au Danemark, les chats domestiques auraient même grandi depuis l'Antiquité, selon une étude.

> Le chat, qui ne dépendait pas de l'humain pour se nourrir, n'était pas installé dans les habitations

Voilà peut-être pourquoi le chat n'est pas un animal de compagnie comme les autres : les analyses isotopiques indiquent clairement qu'il ne dépendait pas de l'humain pour se nourrir, et les traces archéologiques, qu'il ne s'était pas installé dans les habitations. Sa domestication a donc sûrement été beaucoup plus lente et progressive que celle des autres animaux. Le chien, par exemple, a été domestiqué il y a plus de 15 000 ans. Et au cours de la révolution néolithique, ce fut le tour des chèvres, des moutons, des porcs ou des bovins.

Or, à chacune de ses domestications, l'humain a établi de nouvelles relations avec les espèces sauvages, les transformant en versions plus dociles, plus utiles, plus dépendantes. Mais le chat, lui, semble avoir gardé longtemps ses distances. *"On est dans un cas de synanthropie"*, décrit Magdalena Krajcarz. Les chats trouvent un intérêt à vivre

SHUTTERSTOCK



**Son cerveau s'est adapté**

C'est sûrement l'effet le plus classique de la domestication : les principales différences entre chat sauvage et domestique concernent l'organisation du cerveau. Ce qui pourrait expliquer son comportement plus sociable.

**Son physique reste sauvage**

Contrairement aux chiens et aux loups, les empreintes d'un chat domestique sont identiques à celles d'un spécimen sauvage. Mais son museau a un peu rétréci.

dans l'environnement humain, mais n'en dépendent absolument pas. Un peu à la manière des rats ou des pigeons, en bien plus mignons. Et de leur côté, les premiers agriculteurs ont dû très tôt apprécier ces chasseurs de nuisibles pleins de talent, qui couraient après les rongeurs, mais aussi les serpents ou les scorpions.

Reste que pour Jean-Denis Vigne, la relation humain-chat a depuis longtemps donné lieu à de belles histoires. Cet archéozoologue du MNHN a fait une étonnante découverte en 2004 sur l'île de Chypre. *"Il s'agit de la tombe d'un jeune adulte, dans laquelle a été déposé un chat probablement sacrifié pour l'occasion à l'âge de 8 mois. Dans cette sépulture, l'humain et le chat se font face"*, décrit-il. La mise en scène témoigne d'un lien étroit entre les deux individus. La taille des dents et des os, supérieure à celle des autres chats retrouvés à la même époque dans la région, indique d'ailleurs qu'il devait être mieux nourri. Or la sépulture date de… 7000 ans av. J.-C. !

D'autres fossiles de chats du Proche-Orient ont été retrouvés sur l'île, les plus anciens coïncidant avec l'émergence de l'agriculture. Chypre se situe à 75 km au sud de l'Anatolie orientale, où les premières populations humaines déjà sédentarisées ont commencé à cultiver des céréales et à élever des animaux vers 9500 av. J.-C. Comme en Europe de l'Est, mais avec 5 000 ans d'avance, les chats auraient donc accompagné les premiers agriculteurs s'installant sur l'île, coursant les souris qui infestaient les réserves de grains et les embarcations. Et certains auraient été apprivoisés.

## AUXILIAIRE DE CHASSE

Une alliance si bénéfique qu'elle s'observe en d'autres points du globe. En 2016, Jean-Denis Vigne a ainsi retrouvé des fossiles de petits félins dans les ruines du village néolithique de Wuzhuangguoliang, dans la province chinoise du Shaanxi. Ils datent de 3500 ans av. J.-C. Il s'agit d'une lignée de chat du Bengale *(Prionailurus bengalensis)*, un félin sans doute adopté pour sa capacité à chasser le rat brun et le hamster nain gris. Là encore, les fossiles témoignent d'une relation particulière avec l'humain. Certaines dents sont très usées, visiblement impropres à la chasse aux rongeurs. Si les individus ont survécu, c'est probablement grâce à une main humaine.

Le chat du Bengale ne laissera cependant pas de descendance dans les lignées domestiques modernes, car il va être balayé par celui du Proche-Orient. Cette sous-espèce avait sans doute un petit quelque chose le rendant plus apte à vivre avec l'humain : était-il moins farouche? Plus résistant aux voyages longue distance? Plus sociable avec les autres animaux domestiques? Son succès fut en tout cas total. À partir du Ier millénaire av. J.-C., les études génétiques de l'équipe d'Eva-Maria Geigl montrent l'existence d'une seconde vague migratoire vers l'Europe. Elle concerne toujours le chat ganté mais, cette fois, des populations africaines provenant d'Égypte. Des peintures révèlent qu'il servait alors d'auxiliaire de chasse, rabattant les oiseaux vers les chasseurs. Vers 1500 ans av. J.-C., on le représente aussi dans un contexte domestique, sous les chaises des femmes.

### Faits & chiffres

On distingue **trois grandes sous-espèces de chat** : le chat forestier d'Europe ***(Felis silvestris silvestris)***, le chat orné d'Asie ***(Felis silvestris ornata)*** et le chat ganté du Proche-Orient ***(Felis silvestris libyca)***. C'est de cette dernière que sont issus les 500 millions de chats domestiques actuels.

Cette seconde vague migratoire s'avère encore plus puissante que la première. *"Les chats de la dynastie ptolémaïque se sont très vite répandus depuis l'Égypte dans toute la Méditerranée,* détaille Eva-Maria Geigl. *Et ce que l'on voit dans nos données génétiques, c'est qu'ils ont même supplanté l'ancienne lignée anatolienne."* Peut-être cette seconde vague a-t-elle absorbé la première par l'hybridation, comme les chats domestiques risquent aujourd'hui d'absorber les chats sauvages d'Europe, dont la disparition est prévue d'ici à 200 à 300 ans, selon de récentes modélisations.

La lignée égyptienne se répand en Europe entre -800 et 1300. On la retrouve sur les sites vikings, au bord de la Baltique, dès le VII[e] siècle. Elle atteint l'Asie à l'occasion de l'ouverture des routes de la soie. Puis l'Amérique et l'Australie lors de leur colonisation. Pas étonnant: les rongeurs étant un fléau sur un bateau, dont ils détruisent les cordages et les pièces de cuir, un chat à bord était utile, et même obligatoire dans la marine britannique jusqu'au XX[e] siècle. Aujourd'hui, il n'y a guère que l'Antarctique et l'Arctique, plus quelques petites îles, qui sont exempts de chat.

Ce félin qui a envahi le monde n'est finalement pas bien différent de ses cousins sauvages: la domestication, qui s'accompagne normalement de beaucoup de changements morphologiques, comportementaux et génétiques, n'a eu que peu d'impact sur sa biologie, même si elle a tout de même laissé quelques traces. Comme le chien, le chat domestique affiche par exemple un museau raccourci. L'équipe d'Eva-Maria Geigl a également tracé l'apparition d'un gène responsable d'un pelage marbré, remplaçant le pelage tigré, qui apparaît chez les chats de l'Empire ottoman aux alentours de l'an 1000.

## Les chats nous manipulent-ils ?

Vivre avec un félin, c'est risquer de se faire infester par *Toxoplasma gondii*, un parasite vivant dans ses intestins. Aujourd'hui, 30 à 50 % de la population humaine serait porteuse saine. Or ce parasite aurait le pouvoir de modifier notre comportement de manière… à ce que l'on s'approche des chats! Les souris infectées, par exemple, ont moins peur de ce prédateur et sont même attirées par son urine. Et une étude de 2016 montrait des effets similaires chez le chimpanzé vis-à-vis du léopard. De là à penser que notre amour des chats est téléguidé, il n'y a qu'un pas… En tout cas, *Toxoplasma gondii* semble bien s'installer dans notre cerveau et modifier la production de neurotransmetteurs.

### UN LANGAGE DÉVELOPPÉ POUR L'HUMAIN

Ce n'est finalement qu'au XIX[e] siècle que l'humain arrive à laisser son empreinte dans le génome des chats. La population sauvage diminue, son habitat se rétrécit et son apport dans le génome du chat domestique est alors de plus en plus faible. La sélection artificielle de caractères particuliers permet aux humains de créer des races distinctes. Mais en dehors d'elles, la domestication du chat reste subtile *(voir infographie pp. 102-103)*. Ce qui n'est en fait pas étonnant, selon Eva-Maria Geigl: *"Les animaux domestiqués sont ceux qui vivent en troupeau, en meute, qui sont habitués à une hiérarchie – une précondition pour qu'ils acceptent l'humain comme animal alpha, c'est-à-dire dominant. Mais ce n'est pas le cas du chat."* Les spécimens sauvages sont, en effet, des animaux solitaires.

En revanche, le chat a bel et bien eu un impact sur notre biologie: il a par exemple permis à l'un de ses parasites d'infecter chroniquement près de la moitié de la population humaine *(voir encadré)*. Parasite qui, par ailleurs, augmente chez certaines espèces l'attirance qu'elles ont pour les félins… *"Les chats domestiques ont aussi développé un langage particulier avec l'humain,* souligne Jean-Denis Vigne. *Le ronronnement, les miaulements sont beaucoup moins fréquents chez les espèces sauvages, et concernent essentiellement les petits."* Les chats, pour se répandre encore et encore sur la planète tout en étant sûrs de pouvoir manger, ont donc trouvé des moyens de nous parler, de nous attendrir, de nous charmer… de nous domestiquer?




À lire : les études citées dans l'article.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com

LES VOLCANS TUEURS

*L'INDONÉSIE, LE PAYS AUX 127 VOLCANS*

DOCUMENTAIRE 52' - INÉDIT

MARDI 17 NOVEMBRE À 20H45

SCIENCE&VIE TV

LA CHAÎNE POUR COMPRENDRE

@ScienceetvieTV **www.science-et-vie.tv**

Une chaîne Mediawan

DISPONIBLE SUR

CANAL+ CANAL 120

orange CANAL 125

SFR CANAL 182

free CANAL 207

bouygues TELECOM CANAL 127

BIS CANAL 73

prime video CHANNELS

molotov.tv

Olotropp.com ©Getty

# Gravitation
# Et si elle avait une masse ?

Quelle drôle de question ! L'interaction gravitationnelle pourrait donc prendre la forme d'une particule… qui pèse ? Une physicienne a pourtant montré que c'est bel et bien possible… Et des astronomes ont même trouvé comment le vérifier. Explications de **Simon Devos**.

SHUTTERSTOCK - Y. DIRAISON

À première vue, cela ressemble à un raisonnement en boucle, voire à un paradoxe ! Comment la gravitation, cette attirance des corps par leur masse, pourrait-elle, elle-même, posséder une masse ? Cette hypothèse, qui a déjà été formulée il y a plus de 80 ans, refait surface aujourd'hui avec fracas, poussée par un nombre grandissant de physiciens du monde entier.

*"C'est une idée conceptuellement très simple, mais qui nous amène à repenser progressivement toute notre compréhension du phénomène de gravitation"*, s'enflamme d'emblée Claudia de Rham. C'est cette physicienne de l'Imperial College London qui, avec deux collègues, a ressuscité cette vieille idée délaissée, dans un article révolutionnaire publié en 2011.

L'idée, en effet, est née en même temps que le graviton lui-même, dans les années 1930. La relativité générale décrivait alors déjà avec brio cette interaction gravitationnelle – comme une courbure de l'espace-temps sous l'effet des masses. Mais déjà, elle n'était pas compatible avec la physique de la matière, *"avec la mécanique quantique, qui décrit à merveille les trois autres interactions fondamentales de l'Univers : électromagnétique, forte et faible"*, justifie Claudia de Rham. C'est donc pour tenter une unification de la description de ces quatre forces que les physiciens ont postulé l'existence du graviton. À l'instar des ondes électromagnétiques comme la lumière, qui utilise le photon pour se propager, l'interaction

**Graviton**

Particule médiatrice de l'interaction gravitationnelle

**Date d'invention**
1934

**Statut**
Postulat théorique, non détecté

**Masse**
Inconnue, prétendue nulle

gravitationnelle se servirait d'une particule comme médiatrice… Or, le succès actuel du graviton est tel que son existence ne fait plus vraiment de doute pour les spécialistes, même s'il n'a pas encore été détecté *(lire p. 108)*.

**UNE IMPASSE THÉORIQUE ENFIN DÉPASSÉE**

Le photon étant considéré de masse nulle, la plupart des théoriciens qui ont postulé l'existence du graviton l'ont également imaginé sans masse. Excepté, dès 1939, deux sommités de la physique quantique, Markus Fierz et Wolfgang Pauli. *"Bien qu'assez grossière dans ses approximations, leur théorie suscite une première vague d'intérêt,* retrace le physicien Luc Blanchet, directeur de recherche au CNRS. *Pendant les années qui suivent, plusieurs équipes de chercheurs se renvoient mutuellement la balle afin de déterminer si le graviton massif est, oui ou non, un concept théoriquement viable."* Sans compter qu'au début des années 1970, la découverte du boson Z, médiateur de l'interaction faible et très massif (environ 80 fois la masse du proton), démontre une bonne fois pour toutes que les particules médiatrices peuvent très bien avoir une masse.

Sauf qu'en 1972, un article stoppe violemment les recherches sur ce graviton massique. À en croire ses auteurs, le simple fait d'ajouter une masse à la particule ouvre automatiquement la voie à l'existence d'une autre particule, qui se comporte comme si elle avait une énergie négative. La moindre interaction impliquant cette dernière entraînerait alors une réaction en chaîne cataclysmique, qui mènerait à… la destruction de l'Univers ! *"En physique, on appelle ça un fantôme : c'est quelque chose qui ne peut tout bonnement pas exister"*, complète Olivier Minazzoli, astrophysicien au Centre scientifique de Monaco, à l'Observatoire de la Côte d'Azur et membre de la collaboration Virgo. Considérée comme une impasse théorique, la gravité massive est dès lors abandonnée. Et plus aucune recherche ne lui est consacrée.

C'est là que surgissent Claudia de Rham, Gregory Gabadadze et Andrew Tolley. Pourquoi ont-ils exhumé cette vieille idée abandonnée? Ils ne sont pas sûrs de pouvoir le retracer avec exactitude, si ce n'est que la chercheuse travaillait alors sur la propagation de l'interaction gravitationnelle dans des dimensions supplémentaires… Quoi qu'il en soit, un article leur a suffi pour chasser le fantôme: *"Nous avons montré qu'en ajustant très précisément certains paramètres mathématiques sous-jacents à cette théorie, nous pouvions nous débarrasser de l'instabilité qu'elle prévoyait"*, explique Claudia de Rham.

Libérée de ses chimères, la gravité massive peut faire son grand retour. *"En un siècle d'existence de la relativité générale, c'est l'une des premières fois où l'on parvient à bâtir une extension vraiment solide de cette théorie"*, énonce Luc Blanchet. Car le modèle de Claudia de Rham engendre toute une ribambelle de théories supposant l'existence d'un graviton massif. Des théories qui sont aujourd'hui suffisamment précises pour être confrontées au monde réel. *"Plusieurs équipes de chercheurs s'emploient actuellement à trouver le modèle le plus cohérent possible, qui soit compatible avec la plupart des observations astronomiques et cosmologiques modernes"*, décrit Shinji Mukohyama, de l'université de Kyoto, qui a lui-même développé une version minimaliste de la théorie de de Rham.

C'est en effet là que se situe tout l'enjeu actuel de ces recherches. Car le simple fait d'ajouter à cette particule une masse, même infinitésimale, apporte des changements radicaux à la théorie de la relativité générale, que les chercheurs peuvent prévoir et potentiellement détecter. *"Cela affecte tout d'abord la portée de la gravitation: plus une particule porteuse d'une force est massive, plus la portée de cette même force est réduite"*, énonce Claudia de Rham. Ainsi, dans les théories de gravité massive, le champ de gravitation devient sensiblement plus faible au-delà d'une certaine distance. Et c'est tant mieux! Cela pourrait offrir une solution à l'un des mystères les plus intrigants de la cosmologie moderne: celui de l'énergie noire. *"Vers la fin des années 1990, des cosmologistes ont découvert que l'expansion de l'Univers s'accélérait au lieu de diminuer, comme on pouvait s'y attendre, sous l'effet de la gravitation,* rappelle Mikhail Volkov, théoricien à l'université de Tours. *C'est de ces observations qu'est né le concept d'énergie noire, un hypothétique champ emplissant tout l'espace, imaginé comme moteur de cette accélération de l'expansion."* Aujourd'hui encore, les cosmologistes n'ont aucune idée de ce qui pourrait vraiment constituer cette énergie noire, ce qui pose un grave problème théorique. Or, les théoriciens qui manipulent le graviton massique le démontrent: en ajustant précisément sa masse, il est possible de réduire la portée de la gravitation de manière à expliquer l'accélération observée de l'expansion de l'Univers sans passer par aucun autre artifice!

Quelle masse? Infime… Au point qu'il est difficile de se la représenter. Car des observations ont été menées qui la contraignent. En particulier, l'application de ces modèles à l'échelle du Système solaire. Si la gravitation a bien une masse, *"elle devrait déjà commencer à s'atténuer*

> *C'est une idée conceptuellement très simple, mais qui nous amène à repenser toute notre compréhension de la gravitation*
>
> CLAUDIA **DE RHAM**
> Physicienne, Imperial College London

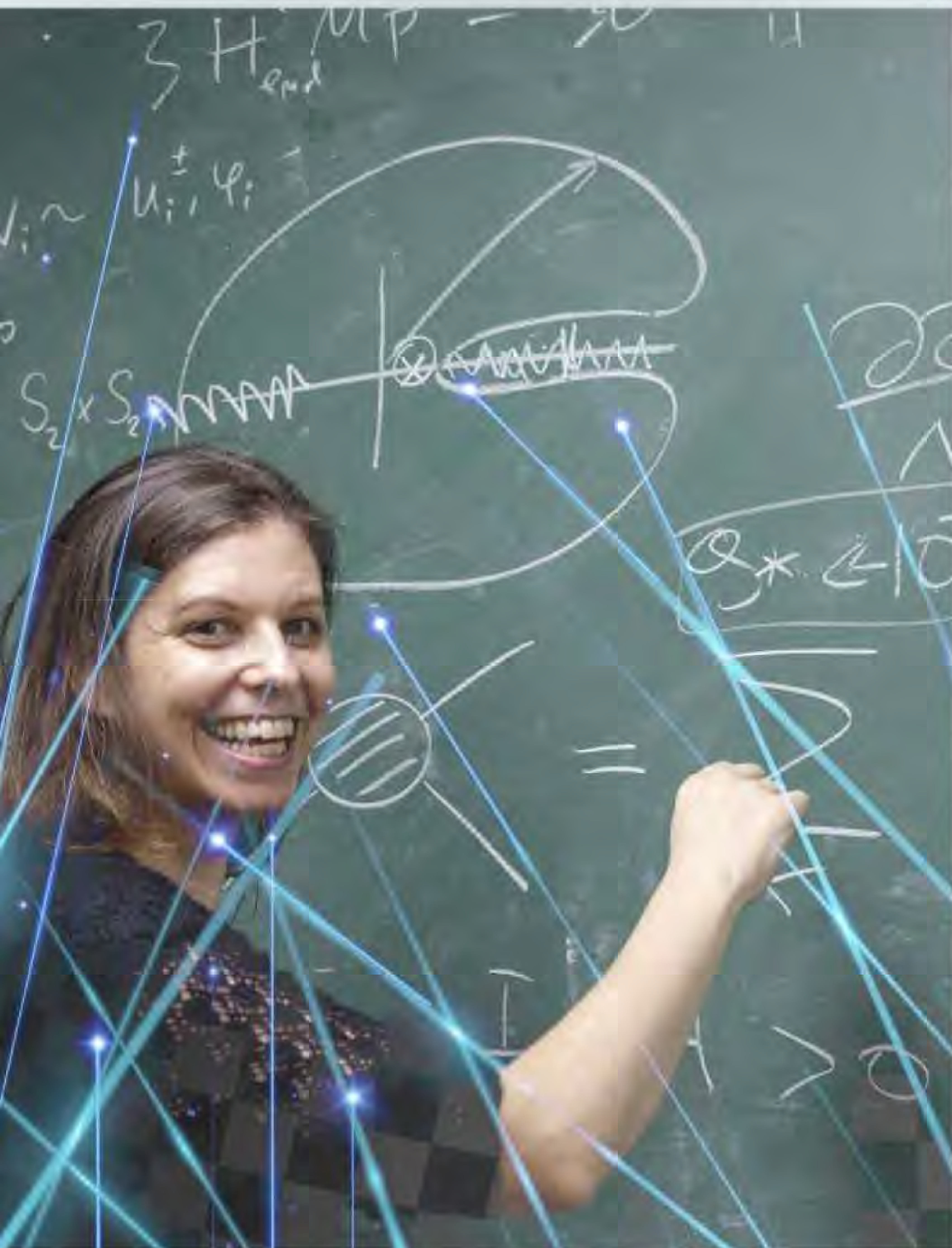
## Cet insaisissable graviton

**Rares sont les chercheurs qui doutent, aujourd'hui, de l'existence du graviton. Et pourtant, la plupart s'accordent à dire qu'il y a peu de chances que l'on puisse un jour détecter cette particule. En effet, la "section efficace" du graviton, quantité reliée à sa probabilité d'interaction avec les autres particules, est extrêmement faible. Selon les physiciens américains Tony Rothman et Stephen Boughn, il faudrait un détecteur de la masse de Jupiter, en orbite proche autour d'une étoile à neutron, pour espérer mesurer une interaction entre un graviton et une autre particule –et encore, un tel événement ne surviendrait qu'une fois tous les 10 ans!**



THOMAS ANGUS/IMPERIAL COLLEGE

*à partir d'un certain éloignement de notre étoile. Or nous n'avons pas trouvé un tel effet mesurable en scrutant les orbites des planètes les plus lointaines,* explique Olivier Minazzoli. *Cela nous amène à penser que le graviton ne possède pas de masse, ou que celle-ci est ridiculement faible".* Elle ne pourrait pas dépasser $10^{-23}$ électronvolt (eV). Pour rappel, l'électron, la particule massive connue la plus légère pèse autour de $10^{5}$ eV ! Si l'on met de côté les particules de masse nulle, ces estimations feraient du graviton la particule la moins massive de toutes. Et de très très loin ! On parle ici de 29 ordres de grandeur. Un graviton pèserait 10 millièmes de milliardième de milliardième de milliardième d'électron ! Et on trouve une estimation plus faible encore de cette valeur limite en considérant l'accélération observée de l'expansion de l'Univers : pour expliquer les observations uniquement via le graviton massif, il ne faudrait pas que celui-ci dépasse $10^{-34}$ eV !



## LA PREUVE PAR LES ONDES GRAVITATIONNELLES

Comment détecter une masse aussi infime ? Comment infirmer ou confirmer cette théorie ? Les chercheurs ont une idée… finalement assez évidente : cibler les ondes gravitationnelles. Car ces oscillations de la courbure de l'espace-temps, détectées pour la première fois en 2018 *(lire* S&V *n°1183, p. 68)*, sont bien des gravitons qui se propagent ! *"Les particules massives se propagent forcément à une vitesse plus faible que celle de la lumière,* raisonne Mikhail Volkov. *Avec un graviton massif, on devrait donc observer un léger retard des ondes gravitationnelles sur les ondes lumineuses provenant d'une même source."* Mais pour l'instant… rien. Aucun décalage temporel entre les deux types d'ondes n'a été détecté. Leur analyse a seulement permis d'estimer une limite supérieure de la potentielle masse du graviton à $10^{-23}$ eV… encore ! Mais cette nouvelle astronomie gravitationnelle ne fait que débuter. À chaque soubresaut spatio-temporel capté, les chercheurs rechercheront la trace du graviton massique.

Et certains physiciens s'accrochent à d'autres pistes observationnelles, comme Emir Gumruckcuoglu, de l'université de Portsmouth : il a évalué que la gravité massive devait affecter très faiblement la façon dont se développent les galaxies, et cherche depuis à déceler ces infimes modifications dans de nouvelles séries d'observations. *"Nous avons enfin un nouveau cadre théorique clair, qui n'est peut-être pas le bon, mais qui au moins est falsifiable. Nous le testerons inlassablement jusqu'à ce que quelque chose en sorte"*, conclut avec enthousiasme le physicien.

Et si l'attirance des masses avait une masse ? Et si, enfin, la force gravitationnelle pouvait prendre corps ? La question est étrange, vertigineuse… mais désormais bel et bien posée !



**EN SAVOIR PLUS**

À consulter : les publications citées dans cet article.

science-et-vie.com

DES CELLULES REPROGRAMMÉES
En haut, les astrocytes, présents en grand nombre dans le cerveau. En bas, les mêmes cellules devenues, une dizaine de semaines plus tard, des neurones dopaminergiques propres à juguler la maladie de Parkinson.

# Parkinson L'incroyable expérience

Et si l'on pouvait rétablir les fonctions motrices altérées en refabriquant *in situ* les neurones indispensables au contrôle du mouvement ? **Marc Gozlan** dévoile les ressorts de cette approche thérapeutique qui brille par sa simplicité.

Les travaux émanent de deux équipes indépendantes, l'une chinoise, l'autre américaine. Et leurs résultats, étonnantes prouesses, ouvrent la voie à une stratégie thérapeutique des plus prometteuses pour la maladie de Parkinson.

Cette maladie neurodégénérative se caractérise par la disparition d'un type particulier de neurones, ceux qui, depuis une région appelée "substance noire", produisent de la dopamine, neurotransmetteur indispensable au contrôle des mouvements, et envoient leurs prolongements vers la région du striatum. Or, les deux équipes ont montré que l'on peut inciter le cerveau à fabriquer de nouveaux neurones dopaminergiques en remplacement de ceux ayant disparu. Plus précisément, qu'il est possible de transformer certaines cellules présentes en grand nombre dans le cerveau en ce type spécifique de neurones. Appliquée à des souris rendues parkinsoniennes par injection intracérébrale d'une neurotoxine, une telle approche a permis aux rongeurs de recouvrer un comportement moteur quasi normal !

HAO QIAN ET AL.

*"Sur le plan expérimental, cette approche est aussi simple que belle"*, s'exclame Lucile Ben Haim, qui travaille sur des techniques de thérapie génique dans la maladie de Parkinson au CEA de Fontenay-aux-Roses.

## Repères

Nos cellules, toutes issues du même œuf, se sont différenciées et spécialisées (neurones…). Elles peuvent, dans certaines conditions, se dédifférencier pour se convertir en d'autres types de cellules.

Ces travaux couronnent une longue série de recherches poursuivies en Chine et outre-Atlantique. Entre-temps, le biologiste chinois Xiang-Dong Fu est parti fonder sa propre unité de recherche à l'université de Californie, à San Diego. *"Entre leur conception et l'obtention de l'ensemble des résultats, les expériences conduites dans mon laboratoire se sont déroulées sur neuf ans"*, confie Xiang-Dong Fu.

À l'origine de ces résultats récemment publiés dans les revues *Cell* et *Nature*, une observation étonnante qui fit l'objet d'une publication en 2013 : Xiang-Dong Fu découvre qu'il est possible de transformer en neurones des cellules de la peau (des fibroblastes de souris ou d'humains) simplement en les empêchant de produire une protéine appelée PTB. Révélant ainsi les vertigineux talents de transformiste de nos cellules : on stoppe la production d'une protéine et un fibroblaste devient neurone !

Durant les années qui suivent, les équipes de recherche, en Chine comme outre-Atlantique, délaissent les cellules de peau pour se concentrer sur un type particulier de cellules cérébrales : les astrocytes.

### UNE SEULE PROTÉINE INHIBÉE

Ces cellules, qui doivent leur nom à leur forme étoilée, font partie des cellules dites "gliales", qui interagissent étroitement avec les neurones, en leur fournissant de l'énergie et en régulant leur activité. Or, *"les astrocytes sont des descendants directs des cellules gliales primitives. D'où l'idée qu'ils puissent être les candidats idéaux pour être convertis en neurones, dans la mesure où ils contiendraient de façon latente des informations cruciales issues de leurs ancêtres"*, explique Magdalena Götz, directrice de l'Institute of Stem Cell Research à Planegg, près de Munich, dont l'équipe avait entrepris dès 2005 les tout premiers travaux sur la conversion d'astrocytes en neurones. Autre avantage crucial : ces cellules sont présentes en grand nombre dans le cerveau et, contrairement aux neurones, elles peuvent se multiplier…

La stratégie des chercheurs a donc consisté à inhiber la synthèse de la protéine PTB dans les astrocytes pour tenter de les convertir en neurones. Les chercheurs ont utilisé différents outils génétiques, qui visent tous à dégrader dans des astrocytes l'ARN messager porteur du code de fabrication de cette protéine. L'équipe américaine a principalement utilisé un virus modifié qui cible spécifiquement les astrocytes en y introduisant une séquence génétique empêchant le fonctionnement de cet ARN messager. Les chercheurs chinois ont privilégié la technique CRISPR, qui permet, tels des "ciseaux génétiques", de modifier des séquences dans le noyau des cellules.

## Restaurer les fonctions motrices

Lors des expériences, il a suffi de 10 à 12 semaines aux astrocytes pour se différencier en neurones dopaminergiques. Le taux de conversion, de 35 à 40 %, est suffisant pour faire disparaître les troubles moteurs chez la souris.

**On cible les astrocytes**
Ces cellules "gliales" indispensables au fonctionnement des neurones jouent un rôle de soutien, d'approvisionnement et de régulation de leur activité.

**Vaisseau sanguin**

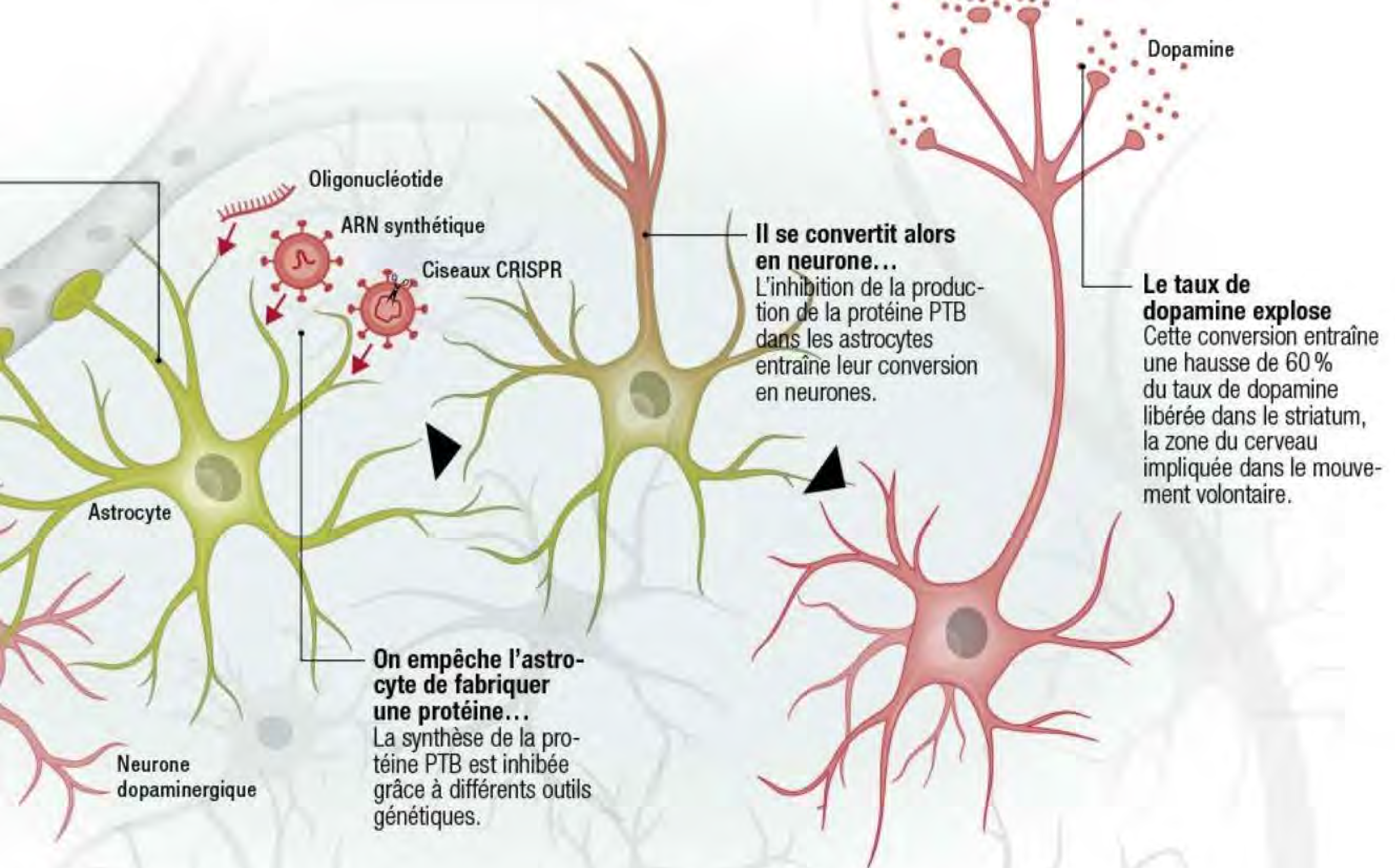
## Faits & chiffres

La maladie de Parkinson touche environ **170 000 personnes en France.** Elle débute généralement **après 60 ans.** Les symptômes moteurs apparaissent lorsque **50 à 60 % des neurones dopaminergiques** sont détruits.

Dans de premières expériences *in vitro*, les deux équipes ont d'abord montré que des astrocytes issus du striatum de la souris se convertissent bien en neurones lorsque leur expression de la protéine PTB y est inhibée. Un résultat similaire a été obtenu avec des astrocytes humains.

Mais le plus impressionnant furent les expériences *in vivo* réalisées dans le cerveau de souris adultes. En ciblant des astrocytes présents dans la substance noire, ils ont là encore réussi à les "reprogrammer" en neurones. Et ces néoneurones sont bien conformes à ceux habituellement présents dans cette région du cerveau : ils sont capables non seulement de sécréter de la dopamine, mais également, comme le font les neurones dopaminergiques dans un cerveau sain, d'envoyer leurs axones vers leur cible naturelle, le striatum, qui contrôle le mouvement volontaire. Ce n'est pas la première fois que des astrocytes sont ainsi transformés en neurones dopaminergiques. Mais la simplicité et l'efficacité de la procédure ouvrent de véritables perspectives thérapeutiques.

*"Il est bluffant que la stratégie utilisée ne repose que sur l'inhibition de l'expression*




B. BOURGEOIS

*d'un seul gène dans les astrocytes de la substance noire. On n'a besoin de cibler que celui qui code la protéine PTB pour obtenir des neurones dopaminergiques fonctionnels matures !"* admire Magdalena Götz. Lucile Ben Haim abonde : *"La nouveauté est que la conversion* in situ *d'astrocytes en neurones se fait en une seule étape. C'est remarquable, au vu de la multitude des voies biochimiques présentes dans les cellules nerveuses."* Et Laurent Venance, directeur de recherche à l'Inserm et chercheur au Centre interdisciplinaire de recherche en biologie du Collège de France (Paris) partage cet enthousiasme : *"Utiliser des astrocytes qui, contrairement aux neurones, peuvent se multiplier dans un cerveau adulte, pour les convertir en cellules neuronales, avec des fibres qui vont au bon endroit : stratégiquement, c'est vraiment malin !"*

Les expériences ont été plus loin. Les chercheurs ont injecté à des souris d'un seul côté de leur cerveau une neurotoxine qui détruit les neurones dopaminergiques de la substance noire. Ils ont attendu un mois, un temps suffisant pour que les troubles moteurs s'installent, les rongeurs présentant alors des taux très bas de dopamine dans le striatum situé du côté de l'injection. Ils ont alors injecté dans le cerveau de ces souris parkinsoniennes leur vecteur viral, et observé une dizaine de semaines plus tard la conversion d'astrocytes en neurones !

Le taux de conversion *in vivo* a été de 35 à 40 %, un rendement suffisant pour obtenir un réel bénéfice moteur chez des souris parkinsoniennes –il devra sans doute être amélioré pour que cette stratégie devienne une thérapie chez des malades. Grâce à de fines électrodes de stimulation introduites dans le striatum des souris, les chercheurs ont montré que ces néoneurones correspondent bien à ceux perdus dans la maladie de Parkinson : ils libèrent de la dopamine lorsqu'ils sont stimulés. Et bien que seulement 30 % des axones de ces nouveaux neurones dopaminergiques aient atteint le striatum, cela suffit à restaurer "presque totalement" le comportement moteur de souris parkinsoniennes – même si les chercheurs américains notent cependant que cette conversion d'astrocytes en neurones est moins efficace chez les souris âgées.

La conversion s'accompagne d'une importante élévation du taux de dopamine dans

le striatum lésé, atteignant environ 65 % par rapport au taux enregistré du côté sain. *"Cette stratégie a entraîné une production de dopamine plus importante dans le cerveau des souris parkinsoniennes que dans celui de souris saines auxquelles on avait également administré le vecteur viral. Le taux de conversion d'astrocytes en neurones a donc été plus élevé quand il existait déjà dans cette région une perte de neurones dopaminergiques"*, souligne Lucile Ben Haim. Tout se passe donc comme si les astrocytes du côté lésé avaient plus de facilité que ceux du côté sain à se transformer en neurones, pour peu qu'on les aide…

## À quoi servent les astrocytes ?

Ces cellules de soutien pour les neurones jouent un rôle indispensable dans la régulation de leur activité. Ce sont elles qui assurent la recapture des neurotransmetteurs dans la fente synaptique. Elle aussi qui, en captant le glucose sanguin, fournissent aux neurones l'apport énergétique. Du fait de leur importance dans les processus d'apprentissage, les astrocytes commencent à être reconnus comme des acteurs majeurs de la cognition, au même titre que les neurones.

Pour parachever la démonstration, l'équipe californienne a administré à leurs souris qui avaient récupéré une motricité normale un composé chimique qui rétablit l'expression de la protéine PTB qu'ils avaient initialement bloquée. Ce faisant, les neurones nouvellement produits sont ainsi réduits au silence. Résultat : les souris redeviennent parkinsoniennes quarante minutes après l'injection. Mais, au bout de quelques jours, une fois que ce produit est métabolisé et cesse d'agir, les souris recouvrent une motricité normale. *"C'est une incroyable démonstration que ce sont bien les neurones issus de la reprogrammation d'astrocytes qui sont importants pour restaurer les fonctions motrices de ces souris modèles de la maladie de Parkinson,* juge Magdalena Götz. *Ces résultats sont impressionnants. D'autant qu'à ce jour, il semble que les neurones générés se maintiennent dans le temps, ce qui semble montrer qu'il ne serait pas nécessaire de renouveler la procédure."*

Les chercheurs américains ont même montré que cette stratégie pouvait s'affranchir du recours à un vecteur viral. Ils ont injecté dans le cerveau de souris parkinsoniennes des "oligonucléotides anti-sens", c'est-à-dire de petites séquences synthétiques d'ADN conçues pour se lier à l'ARN messager de la protéine PTB afin de bloquer son action. Et, là encore, ils ont constaté la conversion d'astrocytes en neurones dopaminergiques, avec récupération motrice.

Selon Magdalena Götz, *"il faudra établir le plan du câblage neuronal à partir des neurones nouvellement produits"* avant de conduire des essais cliniques chez l'humain, afin de s'assurer que ces neurones n'établissent pas de connexions anormales. Et mener des recherches sur d'autres animaux modèles. Mais l'espoir est là.

Un espoir qui dépasse la maladie de Parkinson. *"Cette stratégie thérapeutique pourrait trouver des applications dans le cadre d'autres maladies à dégénérescence neuronale, comme la maladie d'Alzheimer, la sclérose latérale amyotrophique, la maladie de Huntington, voire dans des traumatismes cérébraux ou des accidents vasculaires cérébraux"*, énumère Magdalena Götz.

Son équipe a ainsi rapporté en septembre 2019 qu'une conversion d'astrocytes en neurones moteurs est possible chez la souris après une blessure traumatique du cortex. Tandis qu'une équipe chinoise a montré comment transformer les astrocytes présents dans la rétine en cellules ganglionnaires rétiniennes. *"Il existe une diversité d'astrocytes qui dépend de leur localisation. Cette surprenante propriété fait de ces cellules les candidates idéales pour remplacer les neurones détruits localement. Dès lors que l'on veut reconstruire des circuits neuronaux, il est essentiel d'obtenir des neurones ayant la bonne identité locale."*

Comment un astrocyte peut-il être converti en neurone aussi facilement ? S'il suffit d'inhiber l'expression d'une protéine, pourquoi les astrocytes ne se transforment-ils pas spontanément plus souvent ? Mystère. Études en cours. Mais on ne peut s'empêcher d'espérer : et si on tenait la clé de la régénérescence du cerveau ?



**EN SAVOIR PLUS**

À lire : les articles cités en référence.

science-et-vie.com

# Bon à savoir

## Sommaire


116 C'est maintenant

**Comment se protéger contre l'invasion des punaises de lit**

118 En pratique

**Manger trop de temps en temps, ce n'est pas si grave**

**L'amnésie n'est pas toujours un marqueur d'Alzheimer**

**L'espièglerie, ça s'apprend et c'est bon pour le moral!**

122 Technofolies

**La première montre connectée qui aide à gérer son stress**

**Apple lance une clé virtuelle pour ouvrir et démarrer sa voiture**

126 À voir / à lire / à faire

**Entretien avec Évelyne Heyer, auteur de *L'Odyssée des gènes***

128 Questions/Réponses

**Un virus a-t-il intérêt à tuer son hôte?**

**Pourquoi la ceinture d'astéroïdes ne s'est-elle pas agrégée en planète?**

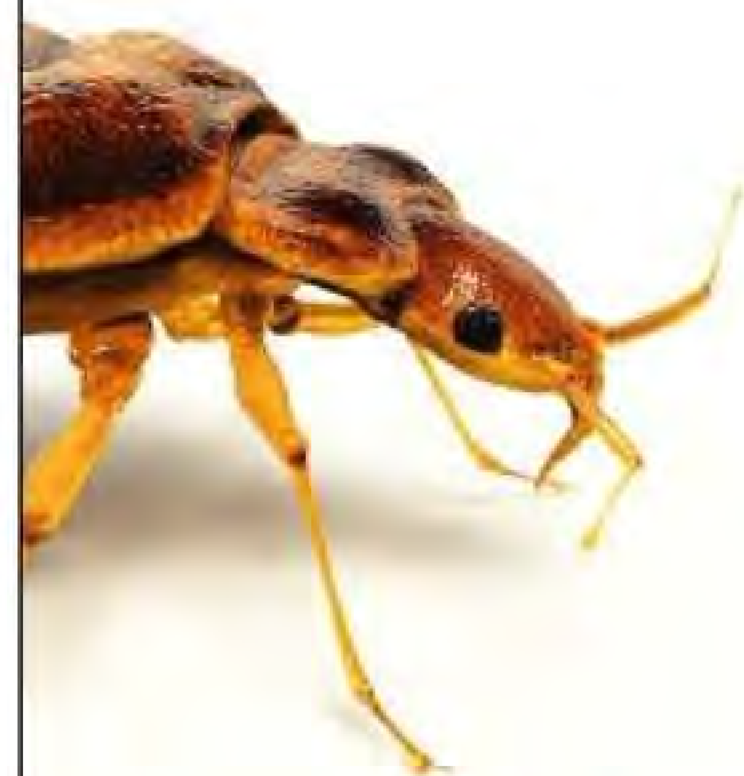
**Quel est le liquide le plus fluide?**

134 Bulle de science



116 Punaises de lit




119 Manger trop





123 Gestion du stress



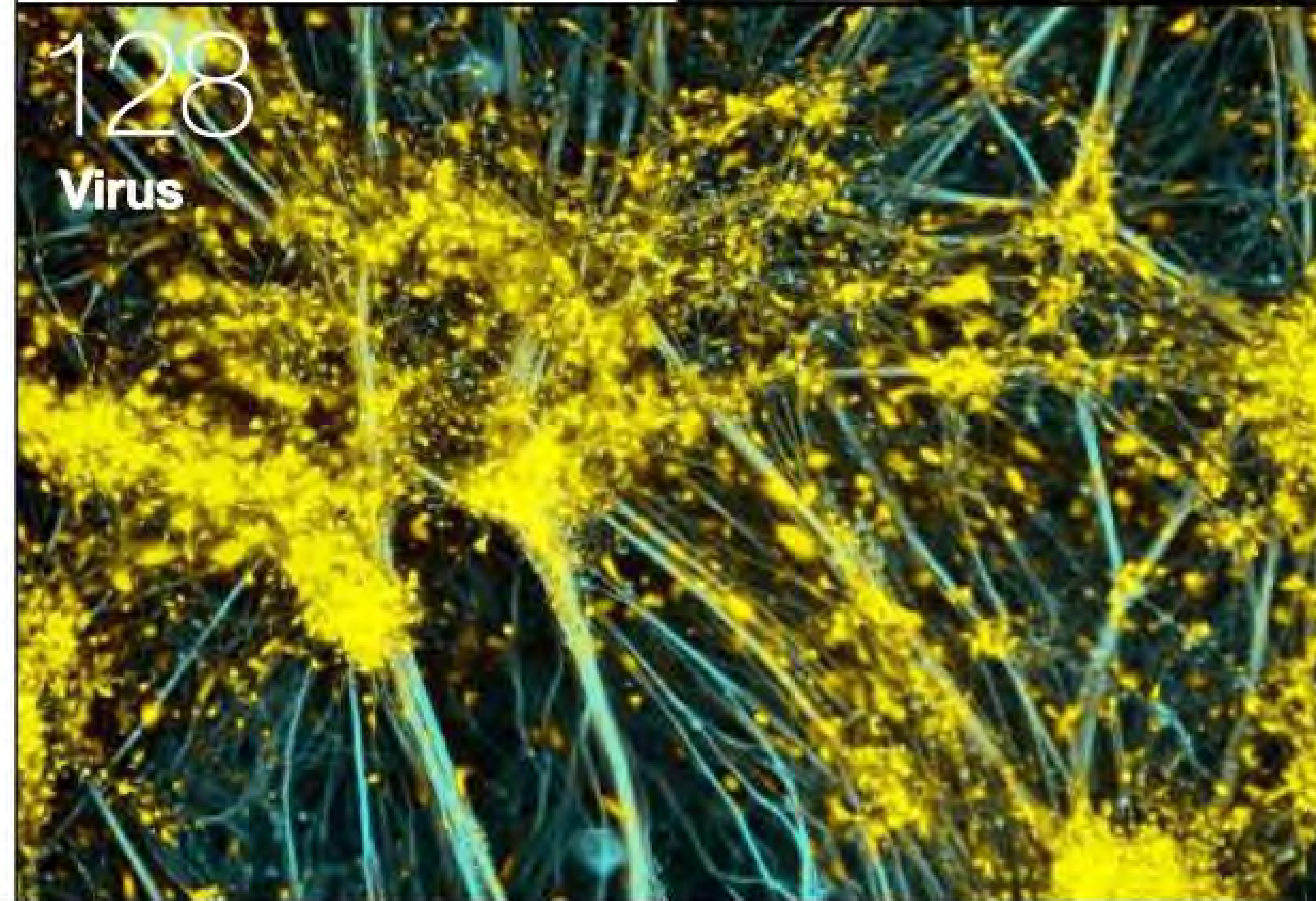



126 **Évelyne Heyer**





128 **Virus**


134 Bulle de science




GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO - ISTOCK - FITBIT - ASTRID DI CROLLALANZA/FLAMMARION - INSTITUT PASTEUR/LENA FEIGE - ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE



# Comment se protéger contre l'invasion des punaises de lit

Écoles, casernes, hôpitaux, logements privés… : les signalements d'infestations par des punaises de lit sont de plus en plus courants en France. Ces insectes, chassés des pays développés dans les années 1950 par l'amélioration de l'habitat et l'usage d'insecticides puissants mais aujourd'hui interdits, reviennent en force à la faveur des voyages internationaux, touchant tous les milieux sociaux. Il est pourtant possible de s'en prémunir.

PAR **KHEIRA BETTAYEB**





## Qu'est-ce que c'est ?

Les punaises de lit identifiées en Europe appartiennent essentiellement à deux espèces : *Cimex lectularius* et *Cimex hemipterus*. Ces petits insectes bruns de 5 mm de longueur environ se nourrissent de sang. *"Aujourd'hui, nous n'avons aucune preuve que leur piqûre transmette des maladies aux humains"*, rassure Pascal Delaunay, du CHU de Nice. Mais leurs piqûres répétées et continuelles démangent et irritent. Au point que les victimes n'osent plus occuper les zones envahies (souvent le lit ou le canapé), souffrent d'insomnies, de stress, et s'isolent de peur d'infester leurs connaissances. Elles souffrent ainsi plus de risques de faire une dépression. Les troubles psychologiques générés pouvant même persister durablement après la fin de l'infestation.




## Mieux vaut prévenir…

Les études de santé publique confirment l'inquiétante invasion en cours aux États-Unis et en Europe de l'Ouest. Mais ces insectes sont en réalité présents sur les cinq continents. Méfiance, donc, au retour de voyage. Que vous reveniez de New York, d'Inde ou de la Creuse, et même si vous avez dormi dans un 5 étoiles, vous en avez peut-être rapporté dans vos valises. Ne posez pas vos bagages sur le lit, mais plutôt dans la baignoire. Nettoyez contenu (vêtements en machine à 60 °C ou au congélateur pendant 3 jours) et contenant, notamment en brossant la fermeture éclair. Et entretenez votre logement pour qu'il leur offre le moins de cachettes possible (fissures, papiers peints décollés, prises électriques mal fixées…). On évite de récupérer des matelas ou des canapés trouvés dans la rue, et on inspecte, on aspire et on nettoie au savon ou au nettoyeur vapeur les meubles d'occasion.

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO - M. KONTENTE



## Identifier rapidement l'intrusion



*"Une invasion de punaises n'est pas due à un manque d'hygiène, cela peut arriver à n'importe qui"*, souligne Pascal Delaunay, du CHU de Nice. Si vous souffrez régulièrement de piqûres au réveil, souvent alignées, ouvrez l'œil. L'insecte, qui se cache pour fuir la lumière, est difficile à repérer mais il laisse des amas de déjections noires sur la literie, les murs ou les meubles. Autre caractéristique : des traces de sang qui tachent les draps quand le dormeur, se retournant dans son sommeil, les écrase en plein repas. Si vous avez un doute, n'hésitez pas à en parler à votre médecin. Celui-ci pourra aussi vous orienter vers une aide psychologique en cas de besoin. Et prévenez vos voisins, car l'infestation peut concerner plusieurs logements. Enfin, contactez un spécialiste de la désinsectisation certifié Certibiocide par le ministère de la Transition écologique et solidaire. Une mauvaise méthode de lutte peut en effet aggraver le problème et coûter plus cher.



## S'en débarrasser

Si l'infestation est faible, des mesures simples peuvent en venir à bout : aspirateur à passer partout, surtout sur les matelas, fauteuils et canapés avant de jeter le sac fermé dans un sac hermétique. Le nettoyeur vapeur s'avère également utile : le passer lentement, à 120 °C, sur les sols, matelas, meubles, fissures, cadres… Il faudra aussi laver les vêtements. À raison de 2 à 3 fois par semaine, durant plusieurs semaines, la lutte mécanique devrait vous libérer des indésirables. *"Attention aux produits chimiques proposés en grande surface ou sur internet"*, prévient Stéphane Bras, de la CS3D*. Leur usage peut conduire à sélectionner les individus les plus résistants, et à les pousser à se cacher dans des zones où il sera beaucoup plus difficile de les déloger. À déconseiller donc, sauf sous le contrôle d'un professionnel.

### En savoir plus

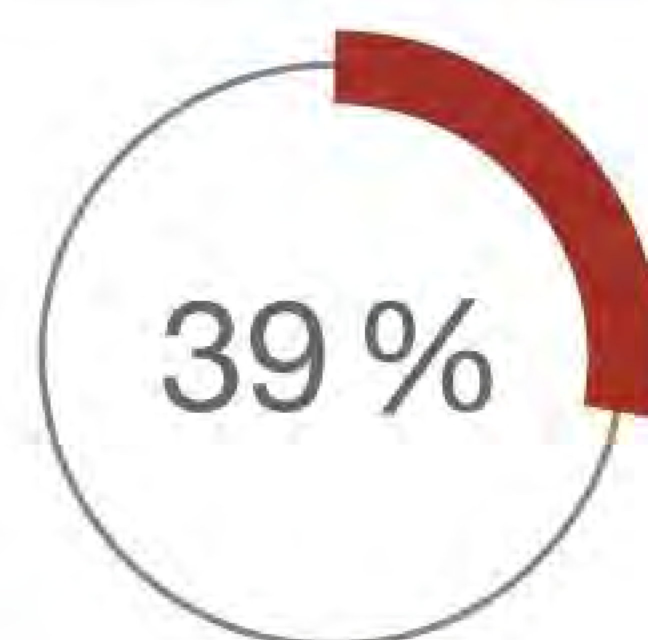
- Le rapport de 2015 du Centre national d'expertise sur les vecteurs : https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/punaise_de_lit_livret_delaunay_2015.pdf
- Le site d'information du gouvernement : https://cohesion-territoires.gouv.fr/punaises-de-lit
- Le site de la chambre syndicale des entreprises de désinfection, désinsectisation et dératisation : https://cs3d-expertise-punaises.fr/
- Numéro d'information sur les punaises de lit (prix d'un appel local) : 0806 706 806

### EN CHIFFRES

**x 3**

Entre 2016 et 2019, le nombre de sites traités par les professionnels de la CS3D* a été multiplié par 3 en France métropolitaine, passant de 180 000 à 540 000.

(Source CS3D)

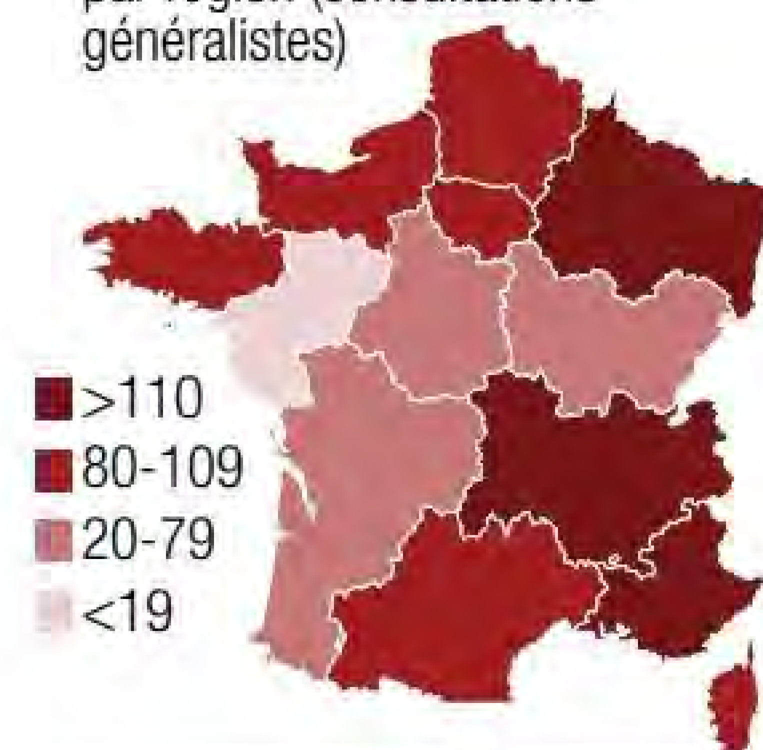



39 % des patients se plaignent d'insomnies ; 39 % évoquent un impact sur leur vie professionnelle, familiale ou sociale ; 42% une dégradation de leur santé mentale.

**72 000**

C'est, en France métropolitaine, entre mars 2019 et avril 2020, le nombre de consultations pour des piqûres de punaises de lit. Soit un médecin généraliste sur deux consulté.

Taux d'incidence par région (consultations généralistes)




*CS3D : Chambre syndicale désinfection, désinsectisation, dératisation.

# L'amnésie n'est pas toujours un marqueur d'Alzheimer



À partir d'un certain âge, face à des trous de mémoire répétés, qui n'a jamais craint le spectre d'Alzheimer ? Un raccourci que l'on a tendance à faire trop vite et à tort, révèle une étude française. Des chercheurs de l'Inserm, du CHU et de l'université de Lille ont suivi 91 personnes atteintes de diverses pathologies neurodégénératives dès les premiers stades de la maladie et ont évalué la sévérité de leurs pertes de mémoire. Après leur décès, l'analyse de leur cerveau a permis de confirmer ou d'infirmer le diagnostic initial.

## Certains examens sont trop invasifs

Résultat : la présence d'une amnésie s'est révélée faiblement prédictive de la pathologie Alzheimer. En effet, un tiers des malades d'Alzheimer n'avaient pas de troubles de mémoire, et près de la moitié des patients qui n'en souffraient pas étaient amnésiques. *"Nos résultats invitent à repenser la manière dont cette maladie est diagnostiquée, afin de réduire la mauvaise orientation de certains patients et d'améliorer la reconnaissance clinique et sociétale des autres maladies neurodégénératives"*, souligne Maxime Bertoux, co-auteur de l'étude.

Actuellement, le diagnostic repose essentiellement sur des tests des fonctions cognitives (mémoire, attention) et l'imagerie cérébrale, alors qu'il est possible de mesurer trois biomarqueurs d'Alzheimer dans le liquide cérébrospinal : la protéine bêta-amyloïde, la protéine tau et la protéine tau phosphorylée. *"Mais l'amnésie reste considérée comme un symptôme précoce important dans la mesure où les examens pour détecter ces biomarqueurs sont onéreux et invasifs"*, expliquent les chercheurs. Alors même que d'autres symptômes peuvent évoquer la maladie : troubles des fonctions exécutives, problèmes d'orientation dans le temps et l'espace… Inversement, les pertes de mémoire peuvent être le signe d'autres maladies neurodégénératives.

Le moindre oubli ne doit pas pour autant devenir source d'inquiétude. Ne plus savoir se servir d'un appareil connu, se perdre dans un endroit familier peuvent être des motifs de consultation. Mais ne plus se souvenir où l'on a mis ses lunettes est finalement très courant. D'ailleurs, s'en inquiéter est plutôt bon signe ! **Lise Gougis**

*"Neurobiology of Aging", juil. 2020*

GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO - ISTOCK - SHUTTERSTOCK

## Être généreux rallongerait l'espérance de vie

L'acte de donner procure bien plus qu'une satisfaction émotionnelle. Des démographes de l'Institut Max-Planck se sont penchés sur les effets de la redistribution des ressources entre générations dans 34 pays. Ils ont constaté que la générosité était positivement liée à la longévité, et ce quel que soit le PIB par habitant. *"Nous pensons que ce soutien réduit la mortalité en répondant aux besoins matériels urgents et que cette générosité peut refléter la force des liens sociaux, qui eux-mêmes bénéficient à la santé et au bien-être des personnes." "PNAS", août 2020*



## Manger trop de temps en temps, ce n'est pas si grave

Un passage au fast-food, le traditionnel repas de Noël: des excès délétères pour la santé. Sauf s'ils restent occasionnels, notre métabolisme étant tout à fait capable de s'adapter, selon une étude menée à l'université de Bath (Royaume-Uni). Comment? Grâce aux hormones produites dans l'intestin et le pancréas, dont l'insuline, qui aident à réguler le taux de glycémie dans le sang. *"Brit. Jour. of Nutri.", août 2020*

### La vaginose pourrait être transmise par les hommes

En étudiant 168 couples dont certaines femmes avaient contracté une vaginose, des chercheurs de l'université de l'Illinois ont montré qu'elle était liée à la composition microbienne du pénis de l'homme. Le mécanisme de l'infection reste toutefois inconnu. *"Front. in Cell. and Infect. Microbio.", août 2020*

## Le tempérament d'un bébé détermine son attrait pour la télévision

Pourquoi certains enfants semblent hypnotisés par les écrans? Des chercheurs britanniques ont étudié l'activité cérébrale de 48 bébés devant une séquence de *Fantasia*, repassée en boucle et entrecoupée par l'apparition aléatoire d'un damier noir et blanc. *"Les réponses cérébrales indiquant la rapidité avec laquelle l'attention des enfants passait de la vidéo au damier prédisait s'ils aimeraient regarder des émissions télé au rythme rapide six mois plus tard"*, analyse Teodora Gliga, co-auteure de l'étude. Ces résultats suggèrent que le tempérament d'un bébé, comme la recherche de stimulations variées, influence son exposition à la télévision. *"Infancy", août 2020*





## La méditation n'est pas sans risque

La pratique de la méditation s'avère contre-productive chez certaines personnes. Tel est le constat d'une équipe de l'université de Coventry (R.-U.) qui a passé en revue 55 études menées entre 1975 et 2019 sur le sujet. Environ 1 personne sur 12 présente des effets indésirables – un chiffre peut-être sous-estimé car seuls sont recensés les effets négatifs graves : anxiété, dépression, troubles cognitifs. Bien que moins fréquents, des problèmes gastro-intestinaux et des comportements suicidaires sont aussi relevés. À méditer. *"Acta Psychiatrica Scandinavica", août 2020*

## Se teindre les cheveux n'est pas cancérogène !

C'est ce que confirme une importante étude de l'École de santé publique de l'université de Boston. Les colorations capillaires permanentes oxydantes contiennent en effet des amines aromatiques, dont beaucoup sont classées cancérogènes probables. Si les coiffeurs courent probablement un risque accru de cancer, ce n'est pas le cas des utilisatrices. *"BMJ", sept. 2020*

## Les fictions jeunesse sur le terrorisme sont formatrices

Ne vous inquiétez pas trop si vos adolescents lisent des romans abordant le terrorisme suicidaire, le djihadisme militant et la violence antiterroriste. Une étude britannique montre en effet que ces histoires génèrent chez ces futurs adultes une réflexion critique des forces qui façonnent la violence, la peur et la suspicion récurrente dans la société. *Routledge, mai 2020*

## L'espièglerie, ça s'apprend et c'est bon pour le moral !

La science l'assure : sortir une blague au bureau ou faire une grimace à table en famille sont de bonnes habitudes ! Et cette attitude joueuse peut même être renforcée, assure René Proyer, psychologue à l'université de Halle-Wittenberg, dont l'équipe a testé 533 volontaires adultes. Les évaluations ont ainsi montré une amélioration de leur bien-être et une diminution des signes dépressifs. Mieux : l'effet bénéfique était toujours présent au bout de trois mois. Et ce n'est pas une blague ! *"Applied Psychology", août 2020*



SHUTTERSTOCK




# 33 GRANDS TITRES DE PRESSE PRIX IMBATTABLE !

PRIX UNIQUE **39€** l'abonnement

Jusqu'à **-77%** de remise



**ruedesétudiants**
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE

## BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

A renvoyer complété et accompagné de votre règlement, sous enveloppe non affranchie à :
RUE DES ETUDIANTS - LIBRE REPONSE 82532 - 75803 PARIS CEDEX 08

### 1. COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ

**ACTUALITÉ INTERNATIONALE**

- ☐ **Courrier international** | Hebdomadaire | 26 n°s
- ☐ **Time** | Hebdomadaire | 35 n°s
- ☐ **Le Monde diplomatique** | Mensuel | 12 n°s
- ☐ **Vocable** | Bimensuel | 21 n°s
  ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol
  (cochez l'édition choisie)

**ACTUALITÉ GÉNÉRALE**

- ☐ **Le Monde Sélection hebdomadaire** | Hebdomadaire | 26 n°s
- ☐ **Alternatives Economiques** | Mensuel | 11 n°s
- ☐ **L'Obs** | Hebdomadaire | 26 n°s
- ☐ **Le 1** | Hebdomadaire | 39 n°s
- ☐ **Politis** | Hebdomadaire | 18 n°s + web illimité + 1 hors-série en version num
- ☐ **Society** | Bimensuel | 24 n°s

**CULTURE GÉNÉRALE**

- ☐ **L'éléphant** | Trimestriel | 3 n°s
- ☐ **Sciences Humaines** | Mensuel | 11 n°s
- ☐ **Philosophie magazine** | Mensuel | 8 n°s
- ☐ **Zadig** | Trimestriel | 3 n°s
- ☐ **Papiers** | Trimestriel | 4 n°s

**SCIENCES**

- ☐ **Sciences et Avenir** | Mensuel | 10 n°s + 1 n° double + 4 hors-séries
- ☐ **Science & Vie** | Mensuel | 12 n°s + web illimité
- ☐ **Sport & Vie** | Bimestriel | 6 n°s + 2 hors-séries

**DÉBATS**

- ☐ **L'Economie politique** | Trimestriel | 6 n°s
- ☐ **Futuribles** | Bimestriel | 3 n°s
- ☐ **La Revue des Deux Mondes** | Mensuel | 6 n°s
- ☐ **Études** | Mensuel | 6 n°s

**HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE**

- ☐ **L'Histoire** | Mensuel | 10 n°s + 1 n° double
- ☐ **Histoire & Civilisations** | Mensuel | 11 n°s
- ☐ **Population & Avenir** | Bimestriel | 7 n°s
- ☐ **La Revue Urbanisme** | Trimestriel | 6 n°s

**ART ET PASSION**

- ☐ **Beaux Arts magazine** | Mensuel | 10 n°s
- ☐ **Connaissance des arts** | Mensuel | 8 n°s
- ☐ **Ideat** | Bimestriel | 10 n°s
- ☐ **Polka** | Trimestriel | 6 n°s
- ☐ **Les Inrockuptibles** | Hebdomadaire | 26 n°s
- ☐ **Télérama** | Hebdomadaire | 21 n°s
- ☐ **So Foot** | Mensuel | 10 n°s

### 2. TOTAL DE MA COMMANDE

PASVI2O

Merci de vérifier si vous avez coché la ou les revues souhaitée(s).

☐ 1 abonnement → 39 € ☐ 3 abonnements → 99 €
☐ 2 abonnements → 69 € ☐ autre (30 € par abonnement supplémentaire),
soit ______ abonnements → Total __________ €

### 3. MES COORDONNÉES - Merci d'écrire en majuscule.

☐ M ☐ Mme Nom ____________________
Prénom ____________________
Adresse (France métropolitaine seulement) ____________________
____________________
Code Postal ☐☐☐☐☐ Ville ____________________
Email ____________________

J'accepte de recevoir par email des offres de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non
J'accepte de recevoir par email des offres des partenaires de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

### 4. JE RÈGLE LA SOMME DE

☐ 39€ ☐ 69€ ☐ 99€ ☐ autre montant ________ €
par : ☐ Chèque à l'ordre de Rue des Etudiants

☐ CB ☐ Visa ☐ Mastercard

N° ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Date d'expiration ☐☐ ☐☐

Cryptogramme (Les 3 chiffres au dos de votre carte) ☐☐☐

Date et signature obligatoires :

En retournant ce formulaire, vous acceptez que Rue des Etudiants, responsable de traitement, utilise vos données pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions commerciales. Pour connaître les modalités de traitement de vos données et d'exercice de vos droits (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http://www.ruedesetudiants.com/ ou écrivez à notre DPO – 67/69 avenue Pierre-Mendès France - 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr.

Je certifie être étudiant(e) ☐ Année d'étude ____________
Filière ____________________

Offre valable jusqu'au 30 juin 2021.

**Abonnez-vous encore plus vite sur ruedesetudiants.com**

# Apple lance une clé virtuelle pour ouvrir et démarrer sa voiture

Prix : de 26 000 € à 148 000 € (selon le modèle)
Rens. : www.bmw.com/fr

Et si, en plus de servir de billet de train ou de moyen de paiement, votre smartphone pouvait aussi remplacer votre clé de voiture ? C'est l'idée développée par le géant américain Apple avec Carkey. Le principe est simple : une fois l'iPhone appairé à la voiture grâce à sa puce NFC, il suffit de l'approcher à quelques centimètres de la poignée côté conducteur pour déverrouiller la portière. Pour démarrer, il faut ensuite poser le smartphone dans le compartiment prévu et appuyer sur le bouton marche/arrêt. Cette clé virtuelle est disponible sur tous les iPhone à partir du 6, ainsi que les montres Apple Watch. Elle n'est pour l'instant compatible qu'avec une quinzaine de modèles de la marque allemande BMW produits depuis l'été 2020 (ici, la nouvelle Série 1). Question sécurité, tout est prévu : en cas de perte ou de vol du smartphone, son propriétaire peut désactiver la clé en se connectant à son compte iCloud. Si besoin est, il peut même la prêter à un ami possédant un iPhone compatible en lui envoyant une invitation. **L.B.**




L'application Carkey n'est disponible pour l'instant que sur les BMW (ici une Série 1).




## Des piles rechargeables par USB

Prix : 25 € pour 4 piles de type AA (tous types disponibles). Rens. : https://paleblueearth.com/

Pour recharger ses piles, il faut généralement les placer dans des boîtiers peu commodes et souvent encombrants. La société américaine Pale Blue Earth prétend résoudre ce problème en lançant des piles munies d'un port micro USB qu'il suffit de connecter à un port USB. Un câble spécial permet de les relier quatre par quatre pour les alimenter. La recharge dure moins de deux heures pour des piles AA, ce qui, selon le fabricant, serait jusqu'à cinq fois plus rapide que les modèles de piles rechargeables classiques. Une LED indique le temps restant. Le constructeur annonce aussi qu'elles pourront être rechargées plus de mille fois. **S.F.**

DR



Elle se charge sur l'iPhone, qu'il suffit d'approcher de la portière pour la déverrouiller.

# La première montre connectée qui aide à gérer son stress

Prix : env. 330 €. Rens. : www.fitbit.com




Fitbit Sense mesure, grâce à un capteur d'activité électrodermale, les petites modifications électriques à la surface de la peau. Il suffit de poser sa paume sur l'écran pour que l'appareil analyse l'activité des glandes de la sudation et du système nerveux autonome. En les couplant aux données sur le rythme cardiaque, le sommeil et le niveau d'activité, ces mesures permettraient de détecter les signes physiques de stress. Un capteur de température au poignet permettrait aussi de suivre différents paramètres de santé, avec une autonomie de 6 jours. **L.G.**

# Une gourde autonettoyante

Prix : env. 50 €
Rens. : www.mahaton.sk

Pas facile de garantir la propreté d'une bouteille (et de son eau) que l'on réutilise régulièrement. Pour ce faire, la société slovaque Mahaton a intégré une LED dans le bouchon de sa bouteille autonettoyante : elle émet des UV-C qui détruiraient, selon le fabricant, l'ADN de 99,9 % des bactéries (dans une eau potable, car cela n'élimine pas les composés chimiques).
Il suffit de remplir la bouteille, de serrer le bouchon et d'appuyer sur le logo pour lancer la stérilisation. Cette bouteille de 350 ml est également isotherme. La recharge se fait sans fil grâce à un chargeur spécifique fourni avec. L'autonomie est de 3 à 4 semaines pour une utilisation de 3 à 4 fois par jour. **S.F.**



**PROTOTYPE**



# Ces gants traduisent la langue des signes en paroles

https://newsroom.ucla.edu/releases/glove-translates-sign-language-to-speech

Pour permettre aux malentendants de se faire comprendre de tout le monde, des ingénieurs en bioélectronique portable de l'université de Californie ont mis au point des gants qui traduisent, via une application mobile et en temps quasi réel, la langue des signes à l'oral. Des détecteurs transforment les mouvements en signaux électriques, qui sont envoyés à un circuit imprimé au poignet, puis transmis sans fil à un smartphone qui les traduit en mots prononcés, à raison, pour l'instant, d'un mot par seconde. L'algorithme reconnaît déjà 660 signes, mais ce n'est pas encore suffisant pour être commercialisé. **E.T.-A.**

# Un airbag portable ultraléger pour les sports extrêmes

Prix : env. 1 000 €
Rens. : www.millet.fr

Pour sécuriser les adeptes de l'alpinisme ou du ski hors-piste, la marque française Millet ne s'est pas contentée de concevoir un sac avec airbag intégré que l'on déclenche par poignet en cas d'avalanche. Elle a avant tout pensé son Trilogy 30 E-One pour qu'il soit le plus léger du marché : 2,5 kg pour un volume de 30 litres ! C'est pourquoi, en plus de son design minimaliste et de sa matière ultralégère (nylon), ce sac intègre un airbag électrique particulier qui fonctionne sans cartouche de gaz ni batterie lithium-ion, mais avec un supercondensateur plus léger à la place, qui se recharge avec deux piles AA. **L.B.**






# Un punching-ball qui donne le tempo

Prix : env. 1 300 €
Rens. : https://liteboxer.com

Mettre le numérique au service des amateurs de boxe, c'est l'ambition de la start-up américaine Liteboxer, dont le punching-ball connecté mesure la précision et la force de frappe. Les boxeurs doivent viser les LEDs embarquées dans la cible au fur et à mesure qu'elles s'allument et peuvent configurer leur enchaînement sur mesure. Un sac de frappe complémentaire a spécifiquement été intégré pour les uppercuts. Une application mobile permet de synchroniser le rythme d'exercice avec de la musique ou de se confronter à ses amis. Avec une empreinte au sol de seulement 1 m sur 1,50 m, le fabricant annonce que son accessoire convient même aux petits espaces. **A.L.D.**

# Des jumelles et un télescope tout en un

Prix : env. 300 €
Rens. : www.ricoh-imaging.fr/fr/v-series/jumelle-vd-4x20-wp.html

Pour posséder une paire de jumelles, il faut vraiment en avoir l'utilité, ou alors il faut en multiplier les usages. C'est la solution qu'a choisie la société japonaise Ricoh. Ses jumelles Pentax VD 4x20 WP proposent en effet un concept 3-en-1. Il est possible de s'en servir comme de jumelles normales, capables d'agrandir quatre fois ce que l'on voit. Mais on peut aussi séparer la paire en deux en tirant simplement les fûts sur les côtés : on se retrouve alors avec deux monoculaires qui permettront à la personne qui vous accompagne de partager ce que vous êtes en train de regarder. Enfin, si un agrandissement multiplié par quatre vous paraît trop faible, il vous suffira de mettre bout à bout les deux monoculaires pour obtenir un télescope capable d'agrandir seize fois ! La mise au point se fait alors avec la molette avant. On pourra même monter le tout sur un trépied pour obtenir une vision stable. Ces jumelles ne pèsent que 345 g et sont étanches afin de pouvoir être utilisées par tous les temps. **S.F.**




DR



On peut utiliser les Pentax VD 4x20 WP comme des jumelles normales. Elles multiplient par 4 ce que vous voyez.

Mais on peut aussi les séparer en 2 monoculaires à partager avec la personne qui vous accompagne…

… ou à emboîter pour former un télescope qui agrandira 16 fois.

## Un purificateur d'air très durable

Prix : env. 200 €
Rens. : https://smartseparations.com/gino/

Comme les autres purificateurs, Gino éliminerait 99,99 % des microbes dans l'air. Mais Smart Separations l'a doté d'un filtre lavable en céramique couvert d'un biocide qui dure 5 ans ! Aspirés par un ventilateur, les microbes sont instantanément détruits, y compris, selon le fabricant, le coronavirus. Mini (16x16 cm) et discret (moins de 35 dB), il s'utilise en USB et ne rayonne pas au-delà de 2 m. **L.B.**



## Ce vélo se plie en seulement 10 secondes

Prix : env. 3 200 €
Rens. : https://gocycle.com/fr/models/gocycle-gx-gxi/

Pour faciliter l'adoption du vélo électrique en milieu urbain, l'entreprise britannique GoCycle a imaginé un modèle rétractable en dix secondes seulement. Ce mécanisme lui permet d'adopter une configuration peu encombrante – 8,30 cm de largeur, 3,90 de longueur sur de 7,50 de hauteur. Pédales, roues et selle sont détachables au besoin. L'utilisation de matériaux légers, tels que l'aluminium, lui permet de ne peser que 17,4 kg, malgré sa batterie amovible qui lui confère une autonomie de 65 km pour sept heures de charge. Doté de trois vitesses, GoCycle GX embarque aussi un système antipatinage et des freins à disques hydrauliques. Une application mobile permet également à son utilisateur de consulter ses statistiques après chaque utilisation. **A.L.D.**

## Des robes en bouteilles plastique recyclées

Prix : env. 120 €. Rens. : https://zolabean.com/

Les robes de l'américain ZolaBean sont faites à 84 % d'un



matériau fabriqué à partir de bouteilles en plastique (7 à 10 par robe) et de marc de café. Les bouteilles transformées en polyester et le marc en fine poudre sont mélangés à 16 % de spandex, un matériau synthétique connu pour son élasticité. Résultat : un tissu qui ne se froisse pas et sèche rapidement. **S.F.**

LIVRE

# *Homo sapiens*, peuple migrateur

Voilà plusieurs années que biologistes et archéologues ont appris à lire dans l'ADN humain comme dans de banales archives. Le livre *L'Odyssée des gènes,* de l'anthropologue généticienne Évelyne Heyer, nous offre une synthèse vertigineuse de l'état actuel des connaissances issues de ces travaux: quelque 7 millions d'années d'histoire de migrations et de brassages.

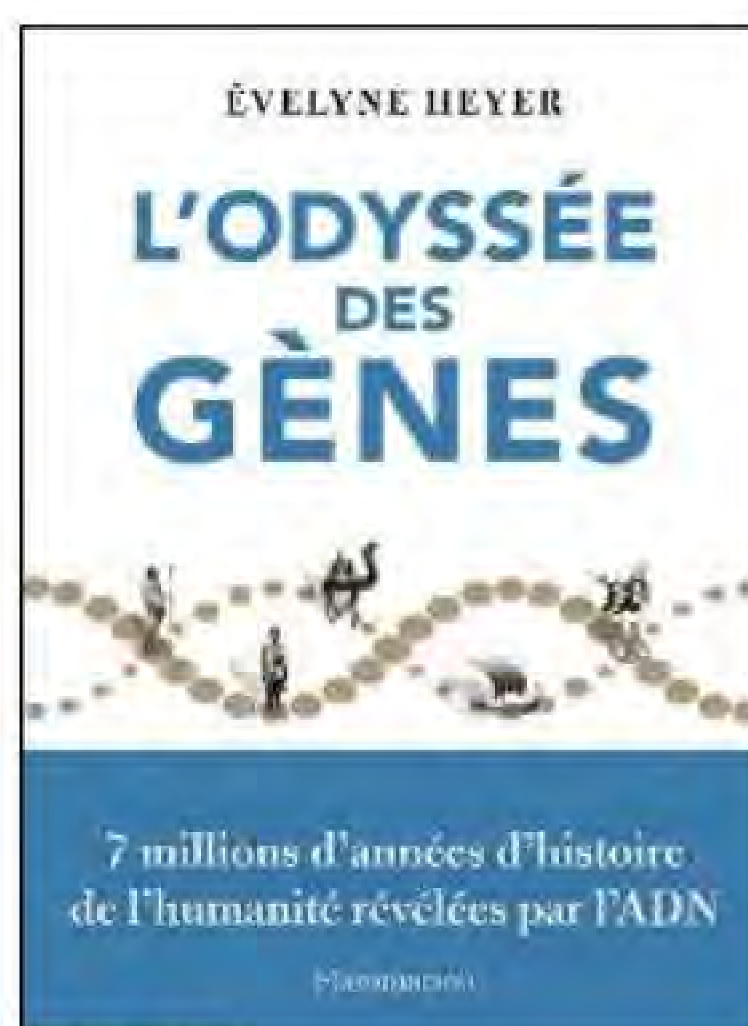
PROPOS RECUEILLIS PAR **JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS**



ASTRID DI CROLLALANZA/FLAMMARION

**Science & Vie: Qu'est-ce que l'ADN ancien, prélevé sur des fossiles humains, a permis de révéler?**

**Évelyne Heyer:** Sans l'apport de la génétique, l'archéologie butait sur des tas d'hypothèses: par exemple, jusqu'à quel point *Homo sapiens* avait-il coexisté avec Neandertal? La diffusion de l'agriculture au Néolithique, du Moyen-Orient vers l'Occident, était-elle liée à des migrations ou juste à un transfert de savoir-faire entre peuples voisins? L'étude de l'ADN fossile a permis d'affirmer que les Eurasiens sont des enfants métis de *Sapiens* et Neandertal, et que ce sont




LIVRE

- **L'Odyssée des gènes**
- D'Évelyne Heyer
- Éd. Flammarion, 388 pp., 22,90 €

les familles d'agriculteurs qui ont migré vers l'ouest au Néolithique. La génétique a aussi révélé de grandes migrations jusque-là inconnues, comme celle des Yamnaya, des nomades des steppes orientales qui se sont massivement installés en Europe à l'âge de bronze.

**S&V: Ces études ont révélé l'importance des migrations dans l'histoire des humains…**

**É.H.:** Oui, nous avons pu confirmer et dater les grandes étapes du peuplement des cinq continents au fil des millénaires. C'est une aventure scientifique à la mesure de cette grande aventure humaine. Nous avons nous-mêmes sillonné la planète pour collecter auprès des populations actuelles des données génétiques précieuses pour retracer cette longue histoire. Qui nous rappelle en effet que nous sommes une espèce de migrants. Les individus du genre *Homo* se distinguent des grands singes, qui ne quittent jamais leur territoire, par leur insatiable curiosité. Les prouesses en navigation des peuples de Polynésie, qui abordent les premiers sur l'île de Pâques, jusqu'à peut-être atteindre les côtes américaines, en sont un exemple éloquent. Même s'il y a bien sûr eu

> *Dans notre espèce, ce sont les femmes qui ont le plus bougé*
>
> ÉVELYNE **HEYER**
>
> Professeure d'anthropologie génétique, Muséum national d'histoire naturelle (Paris)

une balance entre ces migrations incessantes et une continuité locale des populations. Balance qui a notamment favorisé l'adaptation de ces populations à leur environnement: par exemple, un bout de gène de Denisova a permis aux peuples tibétains de mieux supporter la vie en altitude.

**S&V: Vous mettez en avant le rôle des femmes dans ces migrations...**
É.H.: Oui, c'est une chose étonnante révélée par l'ADN mitochondrial qui permet d'étudier l'ascendance maternelle: dans notre espèce, a priori surtout depuis le Néolithique, ce sont les femmes qui ont bougé. Les hommes participaient bien sûr aux grandes migrations sur de longues distances, mais d'une manière générale, les femmes se sont davantage déplacées.

**S&V: Comment cela s'explique-t-il?**
É.H.: Ça reste à préciser. Mais selon les données ethnographiques, 70 à 80% des populations dans le monde sont patrilocales: c'est l'épouse qui part généralement vivre, de gré ou de force, dans la région natale de son mari. Ce fait culturel aurait pu conduire à amplifier le déplacement des femmes au regard de celui des hommes.

**S&V: La question de l'interaction entre pratiques culturelles et diversité génétique est au cœur de votre ouvrage. Que nous en disent ces études?**
É.H.: Deux choses. D'une part, les cultures ont profondément contribué à façonner la diversité génétique actuelle –et non l'inverse, démentant les théories racistes du XIXe s. D'autre part, on sait à présent qu'en matière de partage culturel et de génétique, la règle est qu'il n'y a pas de règles! Ainsi, si les Turcs sont génétiquement plus proches des peuples du Moyen-Orient, leurs langues sont, elles, parlées de la Sibérie à la Turquie. Alors que les Basques, dont la langue est aussi singulière que le profil génétique, en sont un parfait contre-exemple.

LIVRE

- **La France malade du médicament**
- De Bernard Bégaud
- Éd. de l'Observatoire, 192 pp., 18 €




À chaque scandale sanitaire, on accuse le système de pharmacovigilance. Trop simple, selon Bernard Bégaud, professeur de pharmacologie, qui revient sur plusieurs affaires, dont celle du Mediator. Et si le problème venait de notre gabegie en matière de médicaments, de prescriptions trop nombreuses et hors indications, ou d'un système d'autorisation de mise sur le marché trop dépendant des industriels? **L.B.**

EXPOSITION

- **XXHL Giga tours et méga ponts**
- Cité des sciences et de l'industrie
- Jusqu'au 7 mars, 12 €




Qu'ont en commun Burj Khalifa, la plus haute tour du monde, à Dubaï, et le viaduc de Millau? Ils défient à la fois les lois de la gravité et celles de la technique. Des gigatours aux mégaponts, les constructions XXL repoussent toujours plus loin les limites du hors norme. L'exposition retrace les savoir-faire cachés derrière ces prouesses ingénieuriales, qui recourent de plus en plus au numérique. Réalité augmentée et maquettes animées sont ici le clou du spectacle. **P.F.**



À VOUS **DE JOUER**

## PRÊTS À SIGNALER LA PRÉSENCE DE PÊCHEURS FANTÔMES?

**Avec Fish & Click: fishandclick.ifremer.fr**

Les engins de pêche (filets, casiers…) perdus ou abandonnés dans l'océan continuent de piéger inutilement nombre d'organismes marins. Cette pêche "fantôme", également responsable de pollution par les microplastiques, pousse les chercheurs à imaginer de nouveaux matériaux biodégradables. Mais pour cela, une meilleure connaissance des ustensiles actuels s'impose. Or, ça tombe bien, vous êtes là! Lorsque vous rencontrerez un vieux morceau de filet au cours d'une promenade sur la plage ou lors d'une sortie en mer, prenez une photo et localisez-vous. Une grande exposition des clichés sera même prévue la dernière année du projet, en 2023.

**Hugo Struna,** du Muséum national d'histoire

# Pourquoi la ceinture d'astéroïdes ne s'est-elle pas agrégée en planète ?

Question de Romain Lavergne, Toulouse (31)

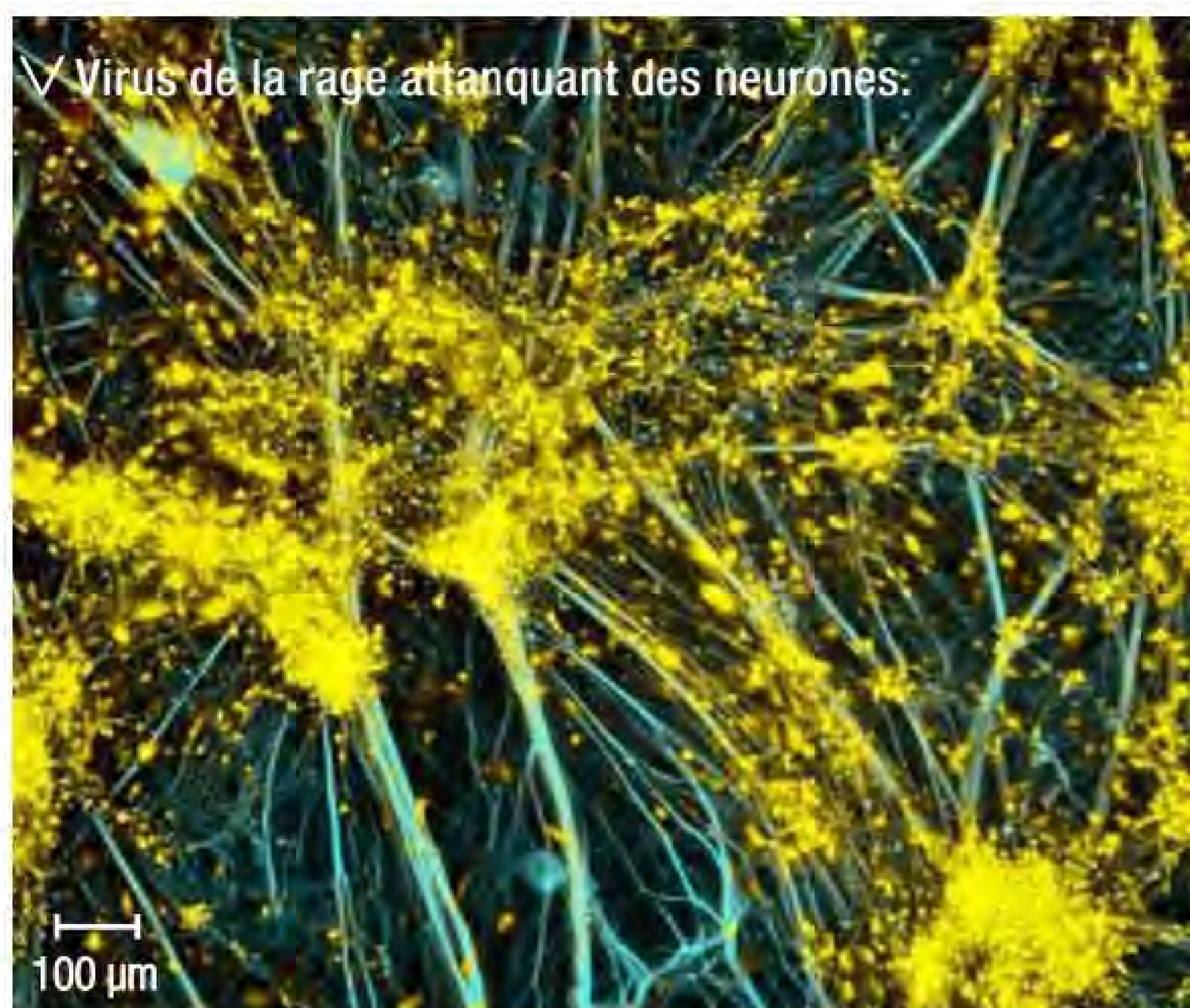
À cause de Jupiter, qui orbite juste au-delà de la ceinture d'astéroïdes. À la naissance du Soleil, il y a près de 4,6 milliards d'années, ne gravitait encore autour de celui-ci qu'un nuage de poussières et de gaz. En quelques millions d'années à peine, sous l'effet de la gravité et de forces centrifuges, cette matière s'est agrégée en amas, dont les plus gros ont absorbé le gaz présent alentour, devenant des planètes gazeuses, telles Neptune et Jupiter. Les quatre planètes rocheuses ont ensuite achevé de se former : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Mais aux abords de Jupiter, les astéroïdes restants, qui auraient pu s'assembler en une cinquième planète, ont été éparpillés par son immense influence gravitationnelle : la gazeuse en a précipité une partie dans le Soleil, et en a éjecté une autre hors du Système solaire.

### Ils sont trop éloignés

N'en reste que la ceinture d'astéroïdes : quelques millions de corps de plus de 1 km de diamètre et quelques milliards de plus de 100 m. *"Cela paraît beaucoup,* reconnaît Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. *Mais si tous ces astéroïdes s'aggloméraient, ils ne formeraient qu'une miniplanète de 0,04 % de la masse de la Terre !"* Et de toute façon, cela n'arrivera jamais. D'abord parce que ces astéroïdes sont trop éloignés les uns des autres : 1 million de km de distance en moyenne. Ensuite parce que Jupiter les a placés sur une orbite elliptique qui leur confère une grande vitesse relative de 10 km/s environ : quand une collision survient, au lieu de fusionner, ils éclatent. Chaque astéroïde vit donc sa vie autour du Soleil comme une miniplanète. *"Ils ne s'agglomèrent pas plus entre eux que ne le font les huit planètes de notre Système"*, conclut le chercheur. **B.R.**

**∧ Placés par la puissante gravité de Jupiter sur une orbite elliptique, les astéroïdes se comportent comme des miniplanètes.**

NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA - INSTITUT PASTEUR/LENA FEIGE




∨ Virus de la rage attaquant des neurones.

# Un virus a-t-il intérêt à tuer

Question d'Alain Ginoux, Marseille (13)

Bien au contraire ! Les virus sont incapables de se reproduire seuls, ils doivent infecter une cellule vivante pour produire de nouveaux virus. Ils n'ont donc aucun "intérêt" à tuer leur hôte… Sinon ils disparaîtraient avec lui. *"Leur but ultime est de persister le plus longtemps possible à l'intérieur de leur hôte, afin de s'y multiplier et de se transmettre ensuite à d'autres individus"*, souligne David Boutolleau, virologue à l'hôpital de la Pitié Salpêtrière. C'est pourquoi beaucoup de virus sont relativement peu mortels :



# son hôte ?

la grippe saisonnière ne l'est par exemple que dans 0,1 % des cas. *"Chez leur hôte naturel, les virus sont même en général toujours bénins"*, souligne Sylvie van Der Werf, virologue à l'Institut Pasteur. Et pour cause : au fil des décennies, virus et hôte naturel se sont adaptés l'un à l'autre et cohabitent. *"Mais un virus peut s'avérer mortel s'il passe dans une nouvelle espèce non initialement adaptée à lui"*, poursuit la chercheuse. C'est le cas, semble-t-il, du SARS-CoV-2, qui se serait transmis de la chauve-souris à la civette, puis à l'humain ; mais aussi des virus de la rage. Plus précisément, ajoute Sylvie van Der Werf, *"quand un hôte meurt après avoir été infecté par un virus, ce n'est souvent pas dû à une multiplication massive de ce virus, mais à l'immunité de l'hôte. Laquelle est soit trop diminuée pour défendre correctement l'organisme, soit, au contraire, trop importante face au virus… d'où un emballement de la réponse immunitaire, délétère pour l'hôte."* **K.B.**

## Appuyer sur des points du corps provoque-t-il un évanouissement ?

Question de Selva Vienne, Poitiers (86)

*"Oui, mais seulement chez des personnes prédisposées*, répond Jean-Claude Deharo, chef de service à l'hôpital de la Timone, à Marseille. *Il s'agit d'une perte de connaissance totale, spontanée et rapidement réversible, due à une baisse du débit sanguin cérébral. Celle-ci peut avoir deux causes : une baisse du débit cardiaque ou une modification de la tonicité des vaisseaux."* Or, appuyer sur certains endroits du corps peut induire ce dernier cas. *"Presser la carotide ou les yeux provoque une vasodilatation qui peut être anormalement importante chez certaines personnes"*, détaille le médecin. Ainsi certains patients s'évanouissent-ils après une légère pression sur la carotide ou après avoir seulement appuyé leurs yeux sur un appareil d'examen ophtalmologique. Mais ces cas sont pathologiques. **C.H.**





À l'état superfluide, l'hélium n'a plus aucune résistance : il déborde de son récipient !

## Quel est le liquide le plus fluide ?

Question de Françoise Lavignotte, Orthez (64)

*"Parmi les liquides communs, essence et kérosène sont de bons exemples"*, répond Céline Cohen, maître de conférences à l'université de Nice. Ils s'écoulent mieux que l'eau, déjà peu visqueuse grâce à la petite taille de sa molécule $H_20$. Car chocs et interactions entre molécules contribuent à la viscosité globale : si le miel s'écoule mal, c'est à cause de grosses molécules comme le glucose, susceptibles de s'entortiller. Et lorsqu'on refroidit un liquide, ses molécules se rapprochent et sa viscosité augmente. Pourtant, c'est à –271 °C que l'on obtient le fluide le moins visqueux : l'hélium. En dessous de cette température, une transition brutale survient même : il devient un superfluide. Sa viscosité vaut zéro ! *"À l'état de superfluide, il n'a aucune résistance. Si l'on fait tourner le récipient qui le contient, il ne tourne pas !"* témoigne Mathias Albert, physicien à l'université de Nice. Du fait de la faiblesse de ses forces d'interaction entre atomes, l'hélium ne se solidifie pas, même à très basse température, et parvient donc à cet étrange état de la matière. Deux éléments gazeux, le rubidium et le lithium, ont aussi atteint la superfluidité en laboratoires. **G.L.**

GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO - ALFRED LEITNER, MICHIGAN STATE UNIVERSITY

# Les lapins sont-ils vraiment crétins ?

Question d'Anthony Laroche, Marseille (13)

*"Ce n'est absolument pas un animal qu'on peut qualifier de bête,* rétorque Mohamed Taher Sraïri, professeur à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat, au Maroc. *Il a même une intelligence poussée."* N'en déplaise au jeu vidéo, l'animal aux grandes oreilles n'a rien à envier aux autres animaux domestiques : *"Il est capable de manifester son contentement en entendant l'ouverture de l'emballage contenant un aliment lui étant destiné. Alors que face à un son similaire mais pas identique, il restera impassible"*, décrit le professeur Sraïri. *"Il est aussi possible d'éduquer des lapins à faire leurs besoins dans une caisse"*, abonde Alain Fournier, vétérinaire parisien. La vivacité d'esprit des spécimens sauvages serait tout de même supérieure à celle des lapins domestiques : selon une étude suédoise, ces derniers posséderaient une substance blanche du cerveau plus réduite et réagiraient donc moins rapidement. *"Si les lapins sauvages n'avaient pas pu compter sur de fortes manifestations d'intelligence, l'espèce aurait disparu tant elle semble démunie face à ses innombrables prédateurs"*, appuie Mohamed Taher Sraïri. Enfin, *"ils ont de réelles facultés à se souvenir des expériences et à se remémorer certaines émotions"*. Analyse confirmée par Alain Fournier : *"La plupart connaissent leur nom et viennent quand on les appelle."* À l'instar du chien, célébré, lui, pour ses capacités cognitives. **F.C.**



Moins malin que son cousin sauvage, le lapin domestique est tout de même capable de reconnaître son nom.

IDÉE DE CADEAU !

APPRENEZ LES BASES DE LA

# ROBOTIQUE

AVEC SCIENCE&VIE

*Science & Vie* s'associe à **Robobox** pour vous proposer d'apprendre **les bases de la robotique et de la programmation**, en construisant, chaque mois, un robot toujours plus évolué. Vivez votre passion de la robotique en apprenant, à l'aide des **différents kits**, de nouvelles notions de mécanique, de programmation ou d'électronique.

ROBOBOX par SCIENCE&VIE JUNIOR

ROBOBOX par JUNIOR 1 LA MINI-ALARME

Abonnement de 3, 6 ou 12 mois

à partir de 24,99 € par kit

Inclus dans votre abonnement

● **1 BOX PAR MOIS** avec des exclusivités Robobox

- De nouveaux composants électroniques
- De nouvelles pièces imprimées en 3D
- Un manuel d'apprentissage Robobox réalisé par *Science & Vie Junior*

● **UN ACCÈS AU CLUB ROBOBOX**

Nous restons aux côtés de nos membres tout au long de leur abonnement avec une aide en ligne personnalisée (offert jusqu'au 3e mois après la fin de l'abonnement).

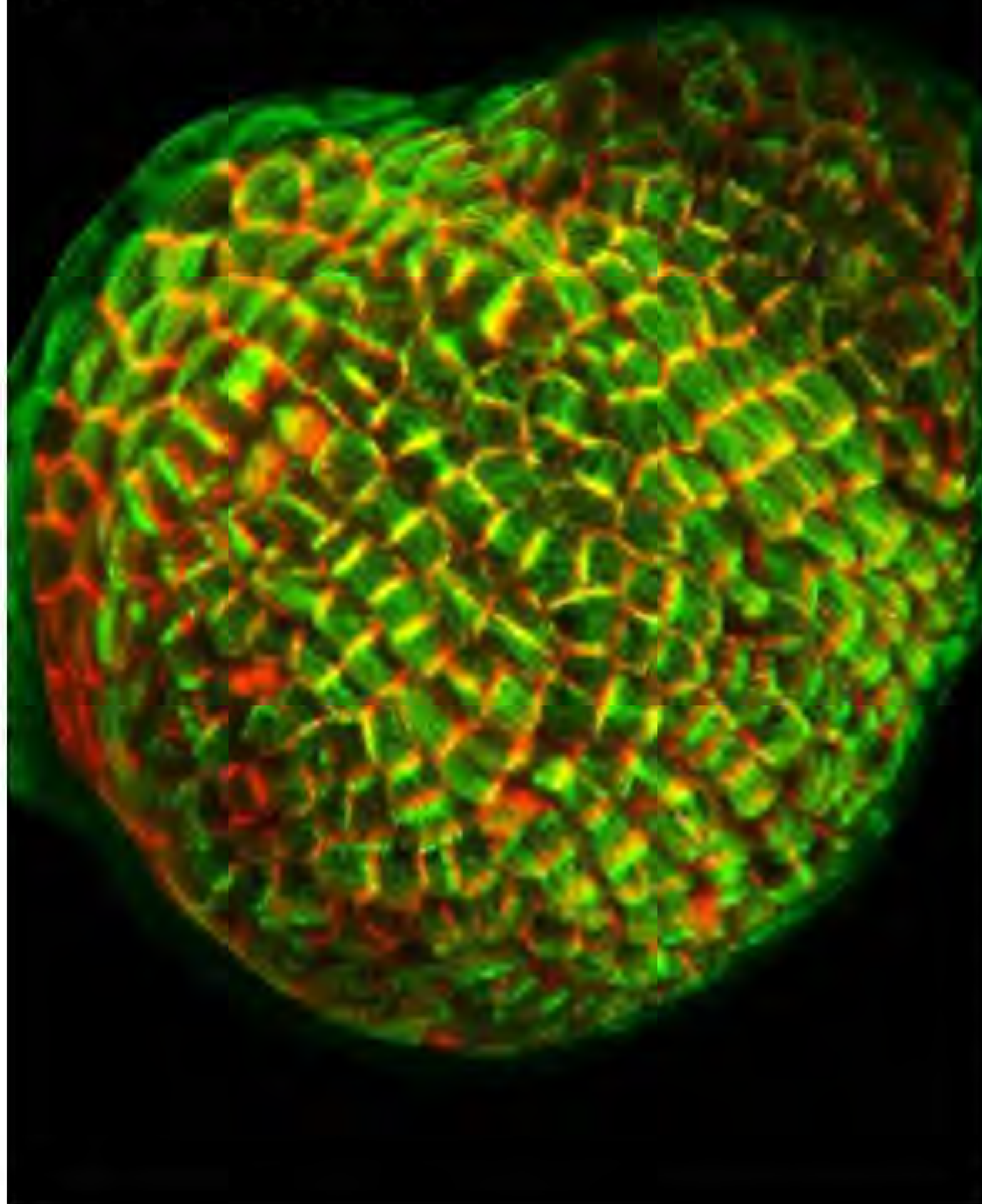
À partir de 14 ans et plus !

Un parcours éducatif progressif
pour un apprentissage en douceur

Visuels non ctontractuels

**TOUTES NOS OFFRES SUR ROBOBOX.FR**
Commercialisées exclusivement sur robobox.fr




À l'intérieur de la cellule, des microtubules (en vert sur cette zone de pousse) gouvernent l'orientation de la plante.

# Pourquoi les haricots grimpent-ils toujours dans le même sens ?

Question de Jules Alexandre, Louhans (71)

Cela reste une énigme! Comme plus de 80% des plantes qui s'enroulent autour d'un support, les haricots tournent très souvent dans le sens antihoraire. Mais *"le sens lui-même n'a peut-être pas une grande importance*, explique Tom Hattermann, doctorant à Montpellier (CNRS). *Ce qui compte pour les plantes grimpantes, c'est de maintenir une direction pour maximiser la friction et l'accrochage au support."* Cette asymétrie est due à un phénomène physiologique appelé turgescence: les cellules augmentent leur volume en se gonflant d'eau. Ainsi, l'élongation cellulaire sur une face génère une courbure sur la face opposée. Selon de récentes études, c'est à l'intérieur des cellules que se jouerait le choix de la zone turgescente elle-même, et donc l'enroulement des tiges dans le sens horaire ou antihoraire. Il serait induit par l'orientation particulière des microtubules, les fibres qui constituent le cytosquelette des cellules et gardent leur forme. Une orientation sans doute déterminée par la génétique, mais on ne sait pas dans quelle mesure. **L.G.**

# Le four micro-ondes est-il vraiment mauvais pour la santé ?

Question d'Adèle Chaudière, Montpellier (34)

*"Aucune étude n'a jamais montré de quelconque danger lié à son utilisation"*, répond Jean-Michel Lecerf, docteur à l'Institut Pasteur de Lille. Bien sûr, il ne faut pas que le four ait une fuite, car l'exposition directe aux micro-ondes est nocive. Mais avec un appareil en bon état, très peu d'ondes s'échappent, une dizaine de milliwatts à peine avec une utilisation à 800 W, ce qui est bien en deçà des réglementations fixées, et tout à fait inoffensif. Et sur les aliments? *"Il n'entraîne pas de changement négatif"*, assure l'expert. Il pourrait même limiter certaines altérations néfastes par rapport à d'autres cuissons: la chaleur y dépasse difficilement les 100 °C, ce qui réduit le risque de voir se former des composés toxiques. *"Il n'induit pas non plus de réaction de Maillard"*, ajoute Jean-Michel Lecerf. Or cette réaction chimique, qui se produit dans presque tous les aliments –et qui donne aussi sa bonne odeur à la viande en train de griller–, contribue à l'apparition d'éléments cancérogènes. **F.C.**

**CETTE RUBRIQUE EST LA VÔTRE, ÉCRIVEZ-NOUS !**

**SCIENCE&VIE**

Pour faire vivre ces pages, nous avons besoin de votre intelligence et de votre curiosité. Vous avez une drôle de question en tête? Nous sommes prêts à interroger les meilleurs experts du monde pour vous apporter ici la réponse!

Écrivez-nous à : sev.qr@reworldmedia.com

ou bien par courrier à : Science & Vie Questions/réponses 8, rue François-Ory 92543 MONTROUGE CEDEX

O.HAMANT ET AL.

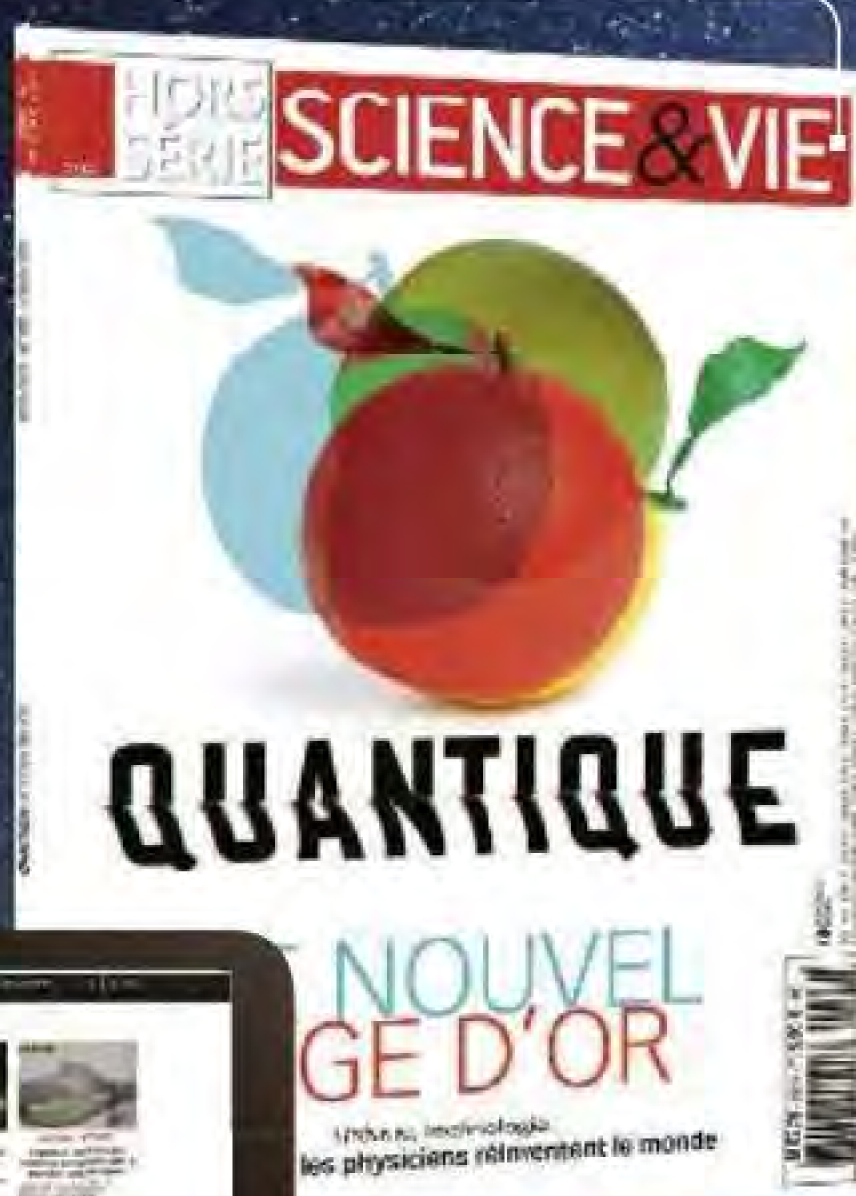
# Abonnez-vous à SCIENCE&VIE

Photo non contractuelle. Image : istockphotos.com

1 numéro par mois




6 hors-série par an






L'accès au site en illimité et à 10 ans d'archives

**4€90** seulement **par mois** au lieu de ~~9€54~~*

**-48%** de réduction

**SANS ENGAGEMENT !**

**EN CADEAU !**



## Les écouteurs Bluetooth

Ces écouteurs sans fil vous offrent un niveau de confort et de performances sans égal !

> Portée du Bluetooth 12 m > Base de chargement : 950 mAh > Autonomie : 4-5 h > Valeur : 20€.

**BULLETIN D'ABONNEMENT** à retourner sous enveloppe affranchie à : Service abonnements Science&Vie - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9

Kiosque Mag — Disponible sur kiosquemag.com

SV1238

## 1 Je choisis mon offre d'abonnement et mon mode de paiement :

**LA MEILLEURE OFFRE** **-48%**

☐ **L'offre Liberté avec hors-série :**
Science&Vie chaque mois + 6 hors-série par an + l'accès au site + les écouteurs en cadeau
pour **4,90€ par mois** au lieu de ~~9,54€~~*. [1249549]

Résiliable à tout moment sans frais. Tarif garanti 1 an, après il sera de 5,90€ par mois.

Je complète l'IBAN à l'aide de mon RIB et je n'oublie pas de **joindre mon RIB**.

IBAN :

Vous autorisez Reworld Media Magazines, société éditrice de Science&Vie à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Reworld Media Magazines. Créancier : Reworld Media Magazines 40 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux France. Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

**Les offres 1 an :**

☐ **Intégrale avec HS : 12 n^os + 6 HS + l'accès au site** pour **69,90€** au lieu de ~~114,44€~~*. -38% [1249556]

☐ **Intégrale sans HS : 1 an – 12 n^os** + l'accès au site pour **52,90€** au lieu de ~~77,04€~~*. -31% [1249564]

☐ **Par chèque bancaire** à l'ordre de Science&Vie

☐ **Par carte bancaire :**

Expire fin : / Cryptogramme :

## 2 J'indique les coordonnées du bénéficiaire de l'abonnement :

Nom** : Prénom** :

Adresse postale** :

CP** : Ville** :

Date de naissance : (pour fêter son anniversaire)

Tél. (de préférence portable) : (Pour envoyer un SMS en cas de problème de livraison)

Email :

(Pour gérer l'abonnement, accéder aux services numériques et recevoir nos offres promotionnelles. L'adresse e-mail ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs)

**Dater et signer obligatoirement :**

À :

Date : / /

Signature :

*Le prix de référence à l'année se compose du prix kiosque (54€ sans HS, 89.50€ avec HS), des frais de port (5.64€ sans HS, 7.54€ avec HS) et du site internet (17.40€)** À remplir obligatoirement. Offre réservée en France Métropolitaine valable jusqu'au 31/12/2020. DOM-TOM et autres pays nous consulter. Le produit vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement et dans la limite des stocks disponibles. Vous disposez, conformément à l'article L 221-18 du code de la consommation, d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnement. Le coût du renvoi de(s) produit(s) est à votre charge. Responsable de traitement des données personnelles : Reworld Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reworld Media-DPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux, ou par mail à dpd@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr. Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur kiosquemag.com.

D'après une question de **Alain Doré, Couvrot (51)**

Tu sais à partir de quelle concentration de $CO_2$ la Terre deviendrait inhabitable ?

À partir de 10 %, on perd conscience en 10 min. Puis à 20 %… la mort survient en moins d'une minute !



Ah. Et avec un taux plus bas, il y a des dégâts sur le long terme ?

Oui, dès 1 %, l'organisme entre en acidose : le $CO_2$ s'accumule dans le sang et son pH devient trop bas.



On pourrait peut-être s'y habituer…

Qui sait ! Si ça augmente progressivement… Ça dépendra des gens.



Et aujourd'hui, il est de combien ce taux ?

Il atteint des records ! La barre des 416 ppm a été franchie en février, ce qui représente 0,0416 %.



Mais ça reste très loin de 1 % !

Oui. Et les scénarios pessimistes prévoient qu'en l'an 3000 le taux de $CO_2$ sera encore 10 fois inférieur au seuil symptomatique…



Donc nos ressources fossiles seront épuisées bien avant d'avoir rendu la Terre inhabitable… du moins directement.

Ouais… Une chance, hein ?



PAR COLINE BUANIC - REMERCIEMENTS À BRICE LODDÉ, MÉDECIN DU TRAVAIL AU CENTRE DE CONSULTATIONS DE PATHOLOGIES ENVIRONNEMENTALES, MARITIMES ET PROFESSIONNELLES DU CHRU DE BREST.
ILLUSTRATION : ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE

# Time World 2021 PARIS

## Congrès mondial sur le HASARD

**21, 22, 23 JANVIER**

**Conservatoire national des arts et métiers**

Programme et billetterie
**timeworldevent.com**



**90 CONFÉRENCES**
**6 TABLES RONDES**
**EXPOSITION**
**DÉDICACES**
**SPECTACLES**


J.-P. Delahaye


Ivar Ekeland


Isabelle Drouet


Pierre Lemaitre


Penny Starfield


Etienne Klein


Stuart Vyse


Roland Lehoucq


J.-F. Clervoy


Madina Rival


François Taddei


Juliette Mignot


Philippe Charlier


C. Maunoury


Kinga Morsanyi


M.-A. Selosse


Leïla Schneps


François Forget


Hubert Reeves


J.-L. Dessalles

Sous le haut patronage




Soutenu par la chaîne YouTube




En partenariat avec

SCIENCE&VIE

Une coproduction



# LA FRANCE À LA VITESSE DE L'ÉCLAIR.




BILLETS ÉCHANGEABLES ET REMBOURSABLES SANS FRAIS*.
POUR VOS ACHATS,
PRIVILÉGIEZ LES AGENCES EN LIGNE AGRÉÉES SNCF OU OUI.sncf
PORT DU MASQUE OBLIGATOIRE DURANT VOTRE VOYAGE.
RETROUVEZ TOUTES NOS ACTIONS POUR VOTRE SÉCURITÉ SUR SNCF.COM




*Exonération des frais d'échange et remboursement pour des voyages jusqu'au 1er novembre 2020 inclus. Dans le cadre d'un échange, la différence tarifaire est à la charge du client. Une équipe à votre écoute du début à la fin de votre voyage (en gares et boutiques, à quai et dans les trains) ainsi que des services exclusifs pour continuer votre voyage (Ma Location AVIS, Mes Bagages…). Offre valable uniquement sur les trains éligibles TGV INOUI. Vente et information également disponible par téléphone au 3635 (service gratuit + prix appel) et en gare et boutiques. TGV INOUI est une marque déposée de SNCF Mobilités. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584 – 9, rue Jean-Philippe Rameau – 93200 Saint-Denis Cedex. ROSA-PARK

TGV
inOui
VOYAGEZ AVEC VOTRE TEMPS